

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hangár pro letadla

Hangar for Airplanes

Student:

Veronika Šnajdrová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava, 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Veronika Šnajdrová**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **3607T037 Konstrukce staveb**
Téma: **Hangár pro letadla**
Hangar for Airplanes

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte:

1. Základní variantní řešení hangárů pro letadla, prostorové uspořádání, podmínky použití, rešerše současného stavu.
2. Předběžné posouzení základních nosných prvků navržených variant nosné konstrukce, řešení ztužení konstrukce, zhodnocení výhod a nevýhod navržených konstrukcí.
3. Základní dispoziční a architektonické řešení zvolené varianty hangáru (část projektové dokumentace pro stavební řízení).
4. Statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení konstrukce.
5. Návrh a posouzení vybraných spojů.
6. Výrobní dokumentace důležitých nebo zvláštních částí konstrukce.
7. Základní postup montáže navržených konstrukcí, technologický postup.

Seznam doporučené odborné literatury:

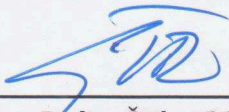
- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí – příslušné části.
- [3] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] Studnička, J., Macháček, J. Vořtučka, L.: Ocelové konstrukce 20 – Pozemní stavby, Praha 1998
- [5] Wald, F., Sokol, S.: Navrhování střešních konstrukcí, Praha, 1998.
- [6] Marek, P.: Kovové konstrukce pozemních staveb, Praha, SNTL, 1985.
- [7] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Structural Engineering, Stahlbau
- [8] Internet

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

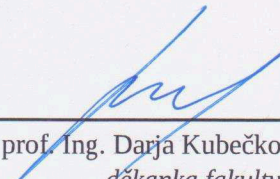
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2013

Datum odevzdání: 02.12.2013


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 1. 12. 2013

.....
Veronika Šnajdrová

Prohlašuji, že

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle č. 111 / 1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 1. 12. 2013

.....
Veronika Šnajdrová

Anotace diplomové práce

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením hlavní nosné konstrukce zastřešení hangáru pro letadla. Obsahuje statický výpočet rozhodujících nosných prvků konstrukce, návrh a posouzení vybraného spoje. Posouzení spoje je provedeno podle Eurokódu 3 a také podle příručky projektanta J. Wardeniera "Design guide for CHS joint under predominantly static".

Práce se obsahuje textovou část - 91 stran, přílohy - celkem 24 stran a 2 výkresy o formátu A1.

Klíčová slova: hangár pro letadla, prostorová příhradová konstrukce, statický posudek, prostorový styčník, velkorozponová konstrukce, 3D model, Scia Engineering

Annotation of the thesis

This thesis describes design and assessment of the main structure roofing hangar for aircraft. It contains static analysis critical load bearing elements of construction, design and assessment of selected joints. Joint assessment is carried out according to Eurocode 3 and also by the Design Guide for CHS joint author under predominantly static J. Wardenier.

The work includes the text part - 91 pages, attachments - a total of 24 pages and 2 drawings on A1.

Keywords: Hall structure, temperature load, analysis of bearing-capacity, 3D model, Scia Engineering

OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE

1.	ÚVOD	- 3 -
2.	ZÁKLADNÍ VARIANTNÍ ŘEŠENÍ HANGÁRU [7],[8]	- 4 -
2.1.	Nosné soustavy	- 4 -
2.2.	Typy nosných systémů pro hangáry	- 4 -
2.2.1.	Příhradové konstrukce	- 4 -
2.2.2.	Rámové konstrukce	- 8 -
2.2.3.	Obloukové konstrukce	- 9 -
2.2.4.	Zavěšené konstrukce	- 10 -
2.3.	Prostorové uspořádání	- 12 -
3.	NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE	- 15 -
3.1.	Návrh variant půdorysného tvaru	- 15 -
3.2.	Volba variant nosné soustavy	- 17 -
4.	PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH NOSNÝCH PRVKŮ	- 19 -
4.1.	Porovnání variant na modelu jednoduchých nosníků	- 19 -
4.2.	Porovnání variant na modelu jednoduché příhradové konstrukce	- 24 -
4.2.1.	Výpočet zatížení	- 24 -
4.2.2.	Předběžný návrh a posouzení	- 27 -
4.3.	Zhodnocení předběžných návrhů	- 40 -
5.	NÁVRH ZASTŘEŠENÍ HANGÁRU	- 41 -
5.1.	Popis hlavních a vedlejších nosníků	- 41 -
5.2.	Popis vaznic a vazníků	- 43 -
5.3.	Architektonické řešení hangáru	- 44 -
5.4.	Výpočetní modely	- 46 -
5.5.	Zjednodušený návrh a posouzení vaznic a vazníků	- 47 -
5.5.1.	Střešní plášť	- 47 -
5.5.2.	Vaznice	- 48 -
5.5.3.	Vazníky	- 48 -
5.5.4.	Výpočet reakcí vazníků od zatěžovacích stavů	- 50 -

5.6.	Zatěžovací stavy	- 50 -
5.6.1.	Zatěžovací stav 1 – vlastní tíha	- 50 -
5.6.2.	Zatěžovací stav 2 – stálé	- 51 -
5.6.3.	Zatěžovací stav 3 – sníh	- 51 -
5.6.4.	Zatěžovací stav 4 – sání větru (příčný)	- 52 -
5.6.5.	Zatěžovací stav 5 – sání větru (podélný)	- 53 -
5.6.6.	Zatěžovací stav 6 – tlak větru	- 53 -
5.7.	Kombinace zatěžovacích stavů	- 54 -
5.7.1.	Kombinace zatížení - MSÚ	- 54 -
5.7.2.	Kombinace zatížení - MSP	- 54 -
5.8.	Návrh a posouzení prvků nosníků dle mezního stavu únosnosti	- 55 -
5.8.1.	Horní pás hlavního nosníku	- 55 -
5.8.2.	Posudky prvků hlavních a vedlejších nosníků	- 62 -
5.9.	Posouzení nosníků dle mezního stavu použitelnosti	- 63 -
5.10.	Nelineární výpočet	- 65 -
6.	POSUDEK PROSTOROVÉHO STYČNÍKU	- 68 -
6.1.	Posouzení prostorového styčnicku dle ČSN EN 1993-1-8	- 68 -
6.2.	Posouzení prostorového styčnicku dle příručky Design guide for CHS	- 74 -
7.	Základní montážní a technologický postup	- 80 -
8.	ZÁVĚR	- 82 -
	SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	- 83 -
	SEZNAM LITERATURY, POUŽITÝ SOFTWARE	- 85 -
	SEZNAM TABULEK	- 86 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 87 -
	SEZNAM PŘÍLOH A VÝKRESŮ	- 91 -

1. ÚVOD

Cílem práce je navrhnout a posoudit nosnou konstrukci zastřešení hangáru v rozsahu odpovídajícímu dokumentaci pro výběrové řízení. Takto rozsáhlá konstrukce bývá podrobně řešena v projekční kanceláři, kde se problematikou návrhu a posouzením zabývá celý tým projektantů.

Má práce je zaměřena na variantní řešení a prostorové uspořádání velkorozponových konstrukcí hangárů pro letadla. Součástí práce je předběžný návrh variant půdorysného tvaru a nosné konstrukce. Tyto varianty jsou porovnány z ekonomického a konstrukčního hlediska. V diplomové práci jsou zjednodušeně navrženy a posouzeny nezbytné součásti nosné konstrukce zastřešení jako jsou vazníky, vaznice apod. Podrobněji je vyřešen návrh hlavních nosných částí konstrukce a jejich posouzení. Co se týká posouzení typického spoje byl posouzen jeden ze styčníků podle dvou metod. První, závazná, je metodika posuzování podle Eurokódu 3 [2], jejímž spoluautorem byl pan J.Wardenier. Ten se v posledních letech zabývá problematikou posuzování spojů a vydal publikaci[5] společně s dalšími odborníky, která je tedy vhodnou nástavbou pro Eurokód 3. Jsou zde zohledněny parametry různých typů styčníků ve větším rozsahu než v Eurokódu a tyto parametry podrobněji specifikovány a určeny. Poslední částí práce je výkresová dokumentace, ve které je určena dispozice a označení všech částí konstrukce zastřešení.

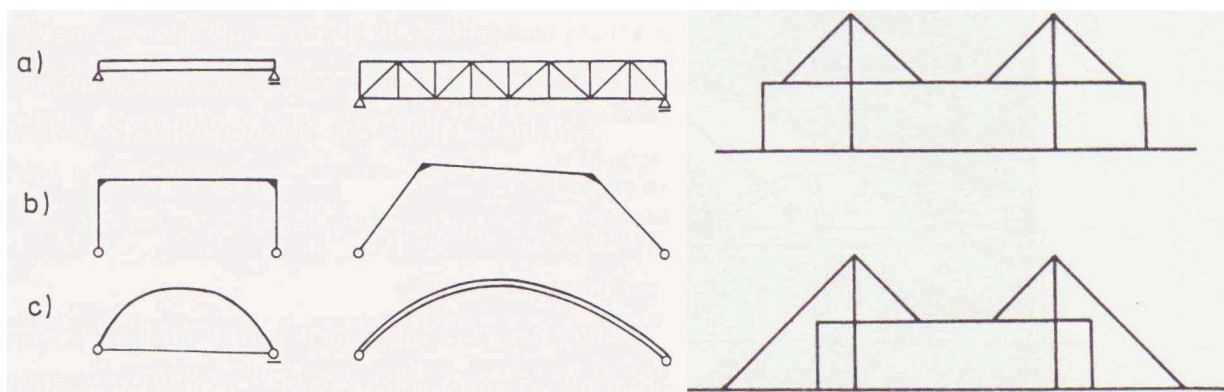
2. ZÁKLADNÍ VARIANTNÍ ŘEŠENÍ HANGÁRU [7],[8]

Pro opravy letadel a jejich přípravu k letům se stavějí hangáry. Jsou to konstrukce velkých rozpětí, charakterizovány zastřešením rozsáhlých ploch bez rušivého vlivu mezilehlých podpor. Hangáry vyžadují, kromě volného vnitřního prostoru přístup alespoň z jedné strany volně otevíratelnými vraty, která vylučují i obvodové sloupy. Hlavní funkcí nosné konstrukce objektů velkého rozpětí je vytvoření podpor pro střešní a případně také stěnový plášť, který chrání prostor objektu před klimatickými vlivy.

2.1. Nosné soustavy

Na základě principu statického působení rozlišujeme soustavy:

- a) Nosníkové
- b) Rámové
- c) Obloukové
- d) Zavěšené



Obr.č. 1 Druhy nosných soustav

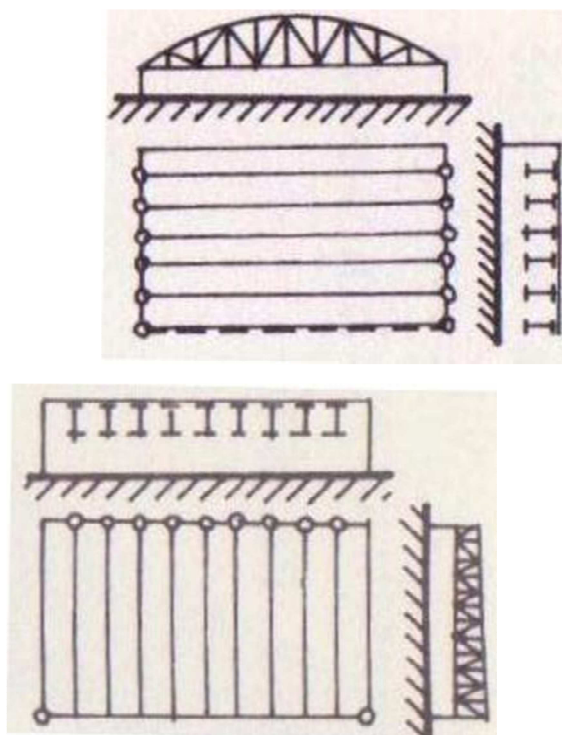
2.2. Typy nosných systémů pro hangáry

2.2.1. *Příhradové konstrukce*

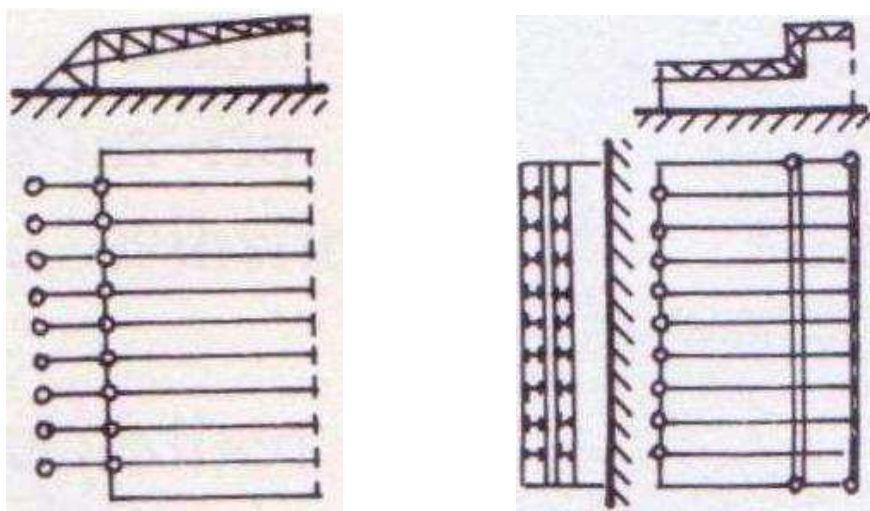
Klasickým konstrukčním typem střech leteckých hal velkého rozpětí jsou příhradové nosníky. Uplatňují se při rozpětích kolem 100 m. Pro svoji konstrukční a výrobní

jednoduchost jsou výhodné, i když ve srovnání s jinými systémy jsou materiálově náročnější. Jako spojité nosníky dosahují ještě větších rozpětí hlavně u velkých hangárů. Nevýhodou je značná konstrukční výška, proto se situují nad střešní rovinu.

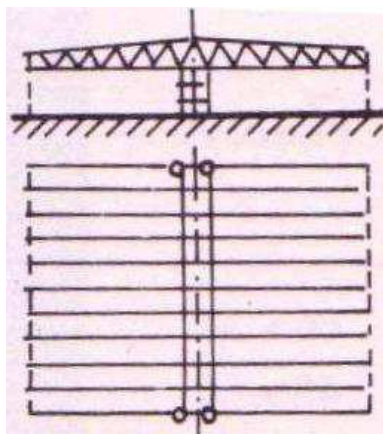
Alternativy příhradových nosných konstrukcí jsou tyto:



Obr.č. 2 Příhradové vazníky rovnoběžně s vraty (vlevo) a průvlak v rovině vrat nese příčně uložené vazníky (vpravo)

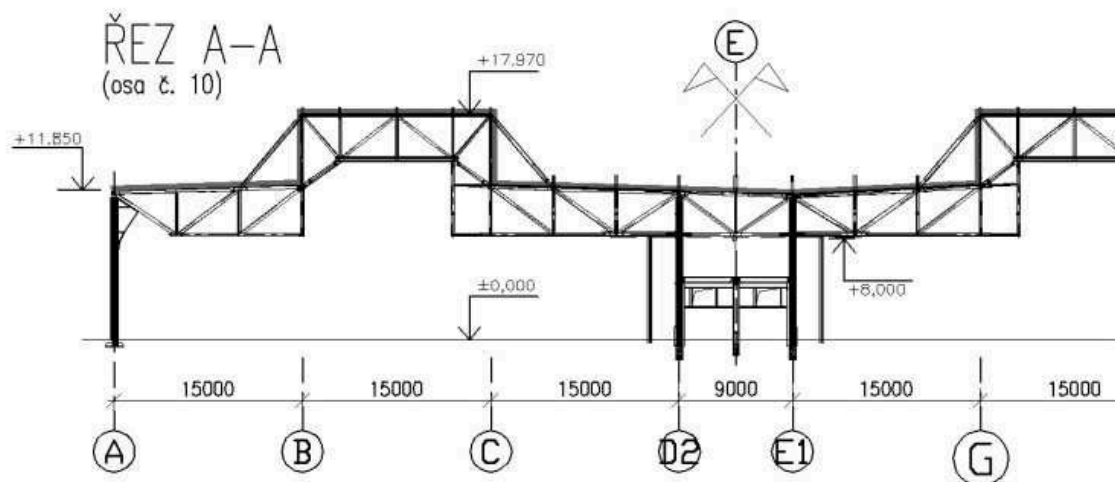


Obr.č. 3 Příhradová konzola - neomezená délka hangáru (vlevo) a vpravo je příhradová deska, ta tvarem odpovídá prostorovým požadavkům a zároveň usnadňuje dimenzování nosné části ve směru vrat

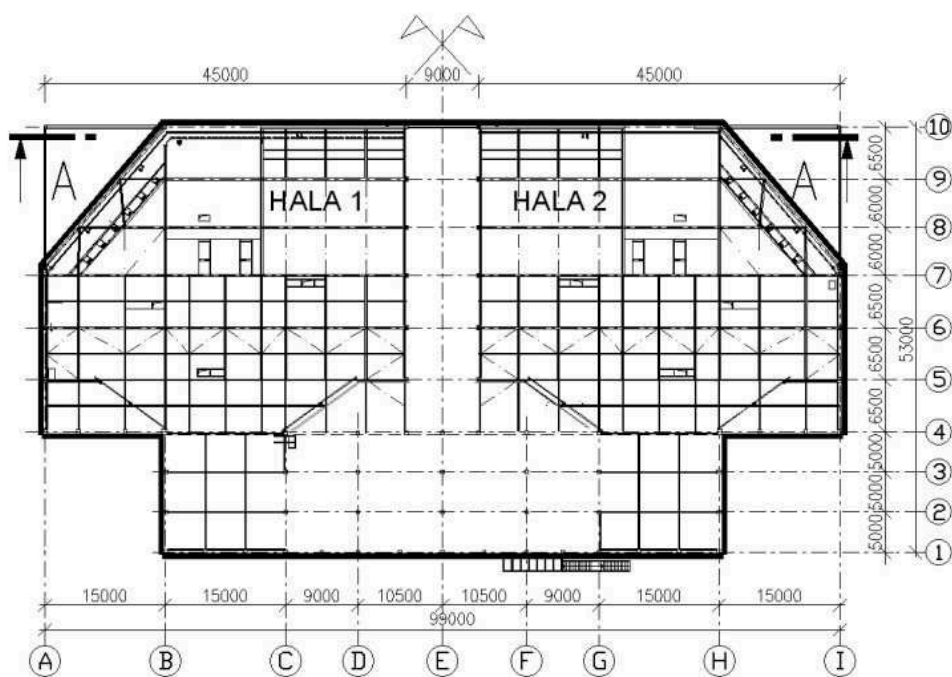


Obr.č. 4 Oboustranná příhradová konzola

Takto řešenou konstrukcí je hangár pro lakování letadel v Mošnově u Ostravy. Hlavními nosnými prvky stavby jsou železobetonové sloupy (vetknuty v obou směrech) a ocelové konstrukce (příhradové vaznice a vazníky na max. rozpětí 45 m), které tvoří nosnou část střechy. Půdorysné rozměry jsou 99,0 × 53,0 m. Výška haly je v místě vjezdu letadel 18,0 resp. 12,0 m.



Obr.č. 5 Řez hangárem lakovny letadel v Mošnově



Obr.č. 6 Půdorys lakovny letadel v Mošnově

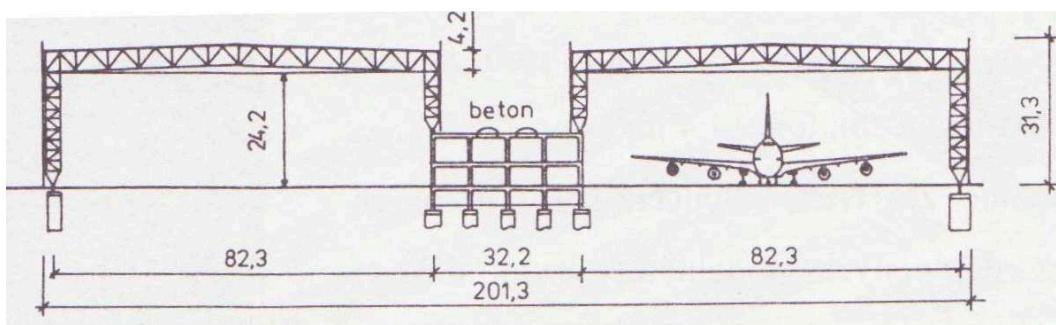


Obr.č. 7 Pohled na hangár na hangár během výstavby[9]

2.2.2. Rámové konstrukce

Rámové konstrukce jsou rovněž tradiční a často užívaným způsobem řešení. Realizují se jako plnostěnné i příhradové. Používají se dvoukloubové rámy, které se vložением dalších kloubů modifikují na polorámové systémy. Největší realizované rámy s příhradovou příčlící dosahují rozpětí více než 100 m.

Klasické řešení pomocí rámu je uplatněno např. u hangáru na letišti Ch. de Gaulla v Roissy u Paříže. Dva dvoukloubové rámy o rozpětí 82,3 m jsou propojeny železobetonovou dílenskou budovou.



Obr.č. 8 Hangár v Roisy [8]

Rámová konstrukce se uplatnila při nedávné výstavbě hangáru na letišti v Katowicích. Disponuje užitnou plochou 7 912 metrů čtverečních. Rámy jsou řešené jako příhradové o rozpětí cca 160 m.

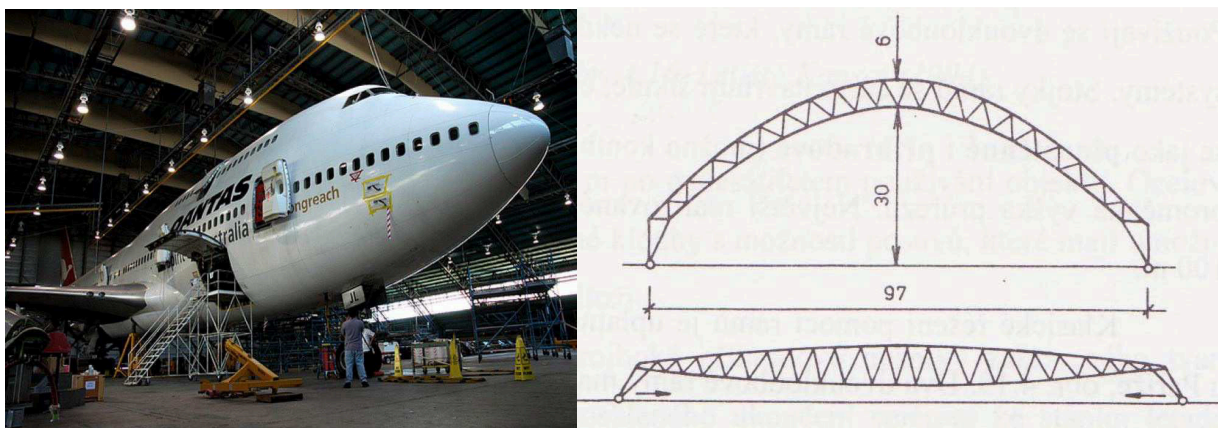


Obr.č. 9 Hangár na letišti v Katowicích [9]

2.2.3. Obloukové konstrukce

Méně užívaným konstrukčním typem jsou rovinné oblouky. Užívá se zejména řešení s oblouky nad střechou, která je na ně zavěšená. Horizontální reakci oblouků lze zachytit táhlem v úrovni střechy nebo základů. Problém vybočení z roviny je u oblouků nad střechou možno vyřešit návrhem dvojice oblouků propojených zavětrováním.

Zakřivenou střechu má např. hangár na základně Avalon v Austrálii. Pro zastřešení plochy 117x97 m byly použity dvouobloukové oblouky.



Obr.č. 10 Hangár v Avalonu uvnitř a postup výstavby oblouku [9], [7]

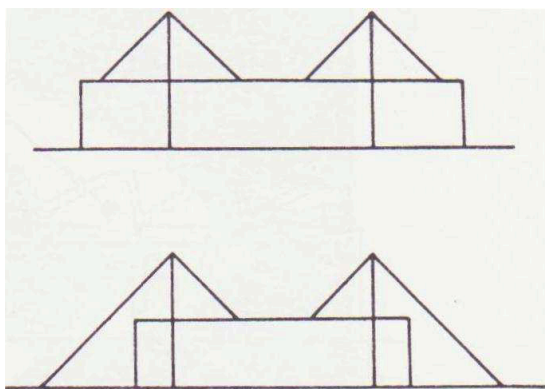


Obr.č. 11 Pohled na hangáry na letišti v Avalonu [9]

2.2.4. **Zavěšené konstrukce**

Častým řešením hangárů jsou zavěšené konstrukce. Jsou charakterizovány použitím závěsů, které vytvářejí dodatečné podpory nosné konstrukce a zmenšují tak její namáhání a dimenze prvků. Zatížení z táhel se přenáší do hlav pilířů. Existují dvě varianty řešení:

- vodorovné účinky zatížení se při symetrii zatížení ruší a svislá síla se přenese do základů
- nelze-li vodorovnou sílu vyrovnat vodorovné účinky přenese pilíř svou ohybovou tuhostí nebo se táhla kotví na druhé straně pilíře do základů.

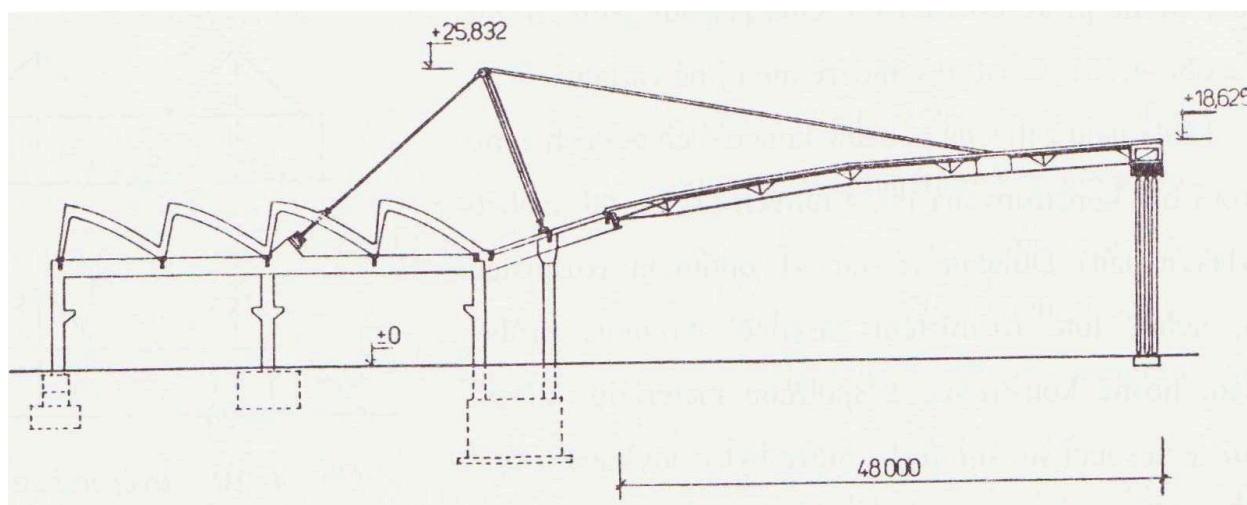


Obr.č. 12 Zavěšené konstrukce

Táhla jsou zatížena pouze v koncových bodech a mohou proto být konstruována jak z tuhých prvků, tak z ohebných lan. Důležité je stanovit optimální rozmístění závěsů, neboť toto rozmístění zásadně ovlivňuje průběh namáhání nosné konstrukce a spotřebu materiálu.

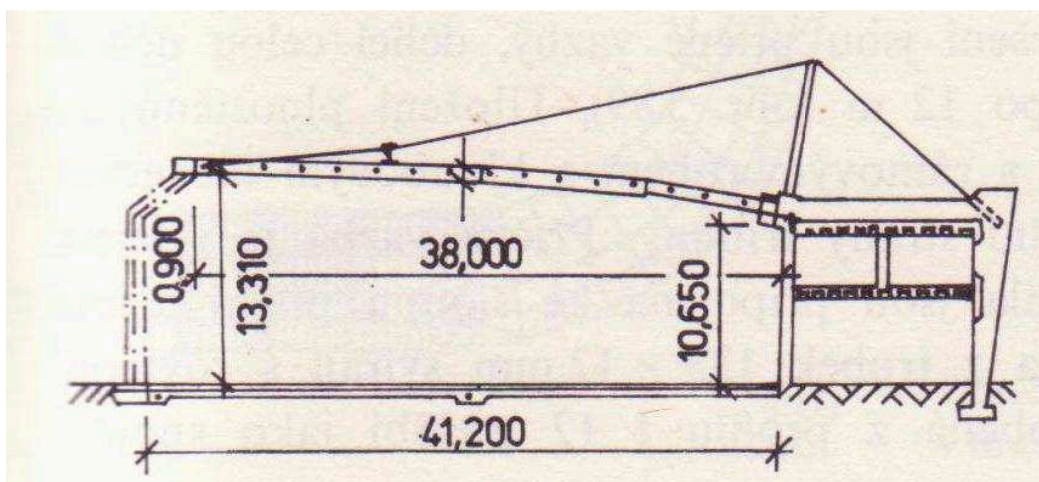
Zavěšení se užívá v kombinaci s rovinnými soustavami, a to hlavně s nosníky nebo rámy. Kombinace plnostěnných nosníků průřezu I zavěšených kolmo na vratový otvor bylo použito na konstrukci hangáru v Praze – Ruzyni.

Nosníky se na jedné straně opírají kloubově o železobetonovou konstrukci. Podporu na druhém konci nahrazuje táhlo z trubky zakotvené přes pilíře do betonové konstrukce.



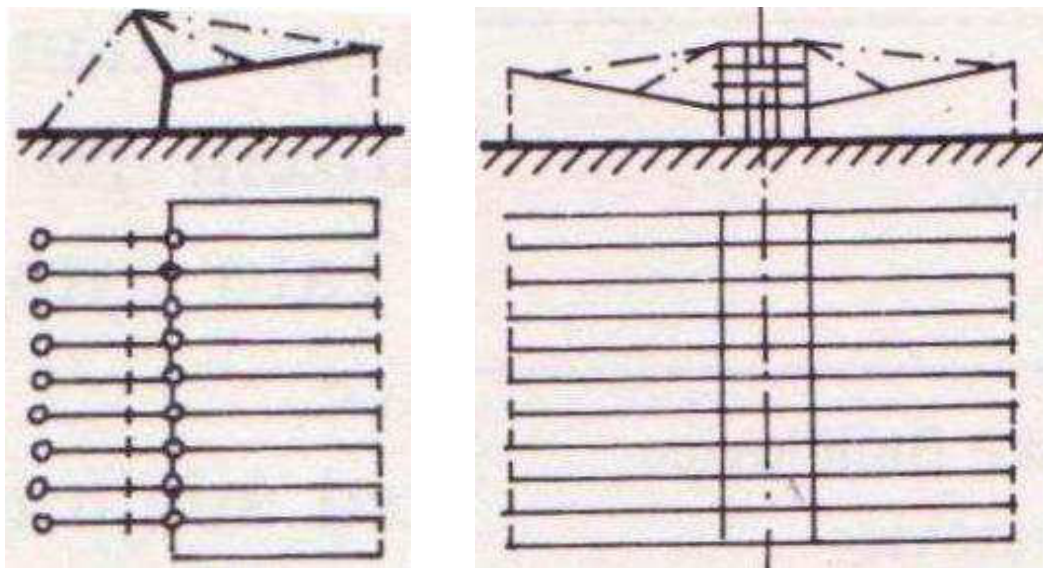
Obr.č. 13 Zavěšená konstrukce zastřešení hangáru v Praze [7]

Jiným zástupcem zavěšeného typu konstrukce je hangár ve Philadelphii. Vazníky jsou zde zavěšeny na ocelových lanech. Šířka haly dosahuje 41,2 m.



Obr.č. 14 Zavěšená konstrukce zastřešení hangáru ve Philadelphii [8]

Alternativy zavěšených nosných konstrukcí jsou tyto:



Obr.č. 15 Rám zavěšený na táhle a symetricky zavěšená střešní soustava[8]

Výběr vhodného typu statického řešení konstrukce

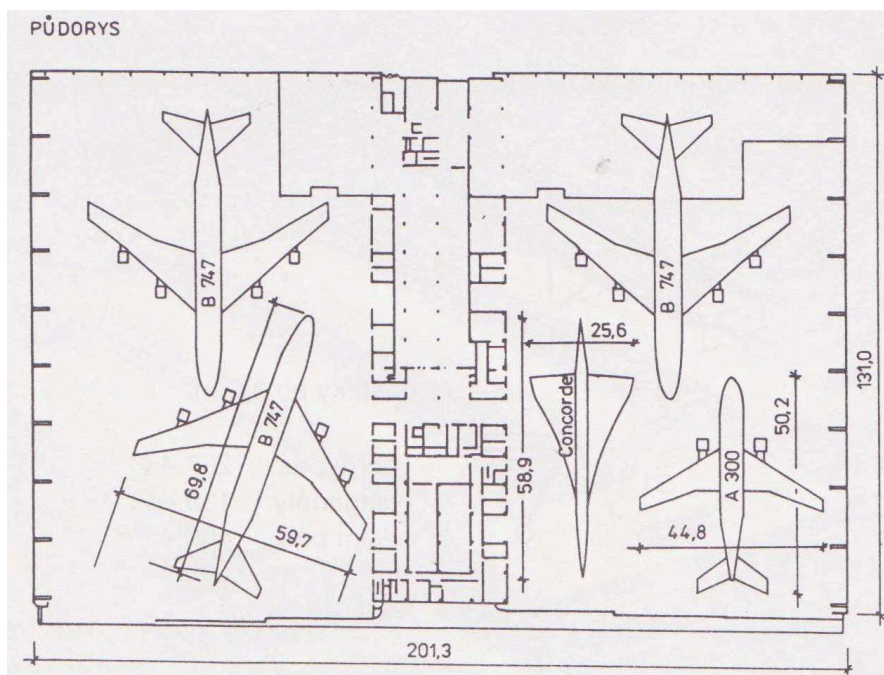
Uvedené soustavy mají výhody i nevýhody. Porovnáme-li charakter namáhání a průběhu statických veličin, lze konstatovat, že spotřeba materiálu se snižuje směrem od tuhých k visutým konstrukcím. Naopak se v naznačeném směru stupňuje náročnost na podpory, daná růstem vodorovných reakcí od svislého zatížení. Systémy s větším namáháním podpor budou hospodárné tam, kde úspora materiálu na střešní konstrukci převáží zvýšené náklady na konstrukci podpor. To nastane obvykle u zvláště velkých rozpětí. Uvedené řazení systémů tedy obecně koresponduje s jejich vhodností při zvětšování rozpětí konstrukce.

U nosníkových soustav vyvozuje svislé zatížení jen svislé reakce. U rámců, které mají příznivější rozložení momentů, vznikají navíc i reakce vodorovné. Ještě větší jsou vodorovné reakce u oblouků, naopak velikost momentů se snižuje a převažuje namáhání osovou silou. Z tohoto vyplývá, že ve směru od nosníků k obloukům roste vhodnost užití při růstu rozpětí.

2.3. Prostorové uspořádání

Prostorové uspořádání letadel v hangáru závisí na typu a počtu letadel, která mají být v hangáru opravována nebo parkována. Dle požadavků na výšku letadel, jejich rozpětí křídel a délku se navrhuje půdorysný rozměr haly. Dbá se při tom na minimalizaci obestavěného prostoru.

Hangár v Roissy je určen např. pro tři letadla typu B 747 a dvě menší letadla například A 300 a Concorde jak je vidět na obrázku níže.



Obr.č. 16 Půdorys hangáru v Roissy – uspořádání opravovaných letadel [7]

Obr.č. Půdorys hangáru v Roissy – uspořádání opravovaných letadel [7]

Dalším příkladem prostorového uspořádání pro dvě letadla, například typu Boeing 737 nebo Airbus A 320, je hangár v Katowicích. Jedná se o jeden z menších hangárů určených pro přípravu letadel ke startu, dále ke zkoušení motorů, řešení problémů a závad.



Obr.č. 17 Pohled do hangáru v Katowicích [9]



Obr.č. 18 Hangár v Mošnově [9]

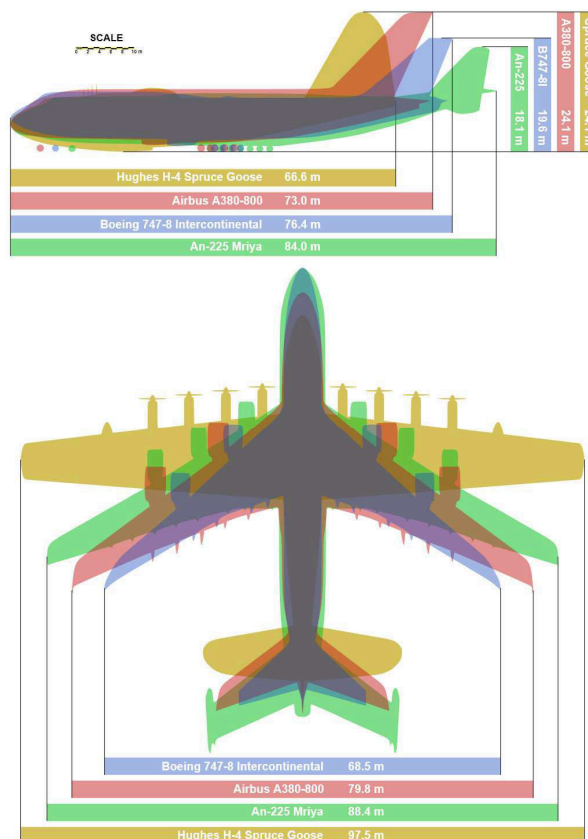
Oprávérenské centrum letadel v Mošnově patří mezi největší v České republice. Dokáže pojmout až osm Boeingu 747. Je také určeno pro letadla typu Saab 340 nebo český letoun L 410. Příklad uspořádání letounů je zobrazen na modelu 1:200 na obrázku výše. Vedle je skutečný pohled do haly.

3. NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE

3.1. Návrh variant půdorysného tvaru

Navrhovaný hangár musí pojmut tři velkorozměrové letouny. V tomto případě se jedná se o dva letouny typu Boeing 747 a jeden Airbus A 380. Uspořádání letounů musí být takové, aby každý letoun měl možnost pojezdu bez manipulace s ostatními servisovanými stroji. Ve většině případů se půdorys volí jako obdélníkový z důvodu výhodnějšího statického působení hlavních nosných prvků. Problémové pak je řešení vjezdového prostoru. Musí se zde navrhovat masivní portálový nosník, který zajistí bezporuchovou funkci vrat.

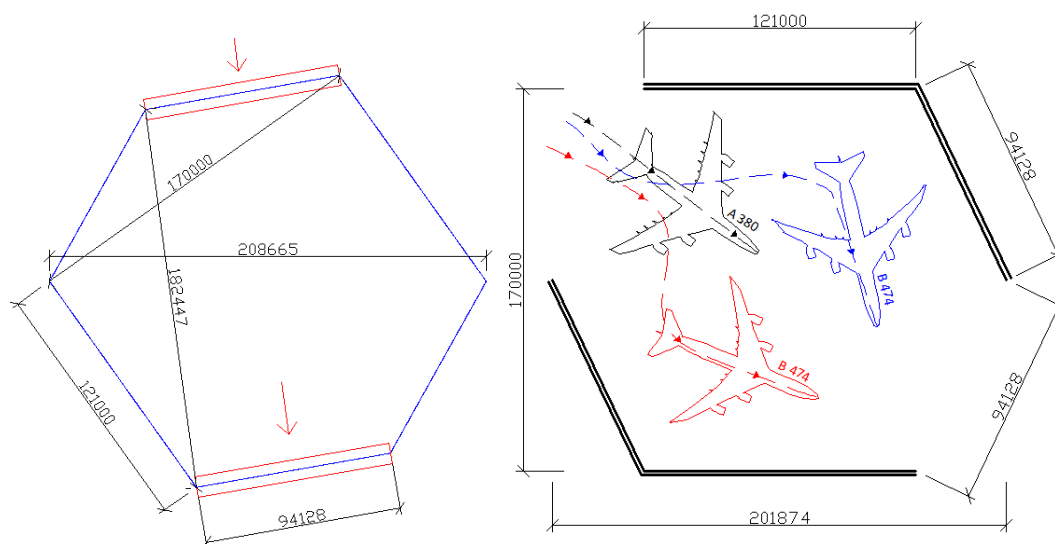
Půdorysy, které by byly zajímavé z hlediska architektonického a dispozičního řešení, jsou uvedeny v následujících dvou podkapitolách. Předběžně byly navrženy dva možné tvary půdorysu hangáru. První varianta je tvaru šestiúhelníku druhá má tvar osmiúhelníku. U obou variant je uvažováno s možností více jak jednoho vjezdu.



Obr.č. 19 Hlavní rozměry letadel

Půdorysný tvar šestiúhelníku – varianta A

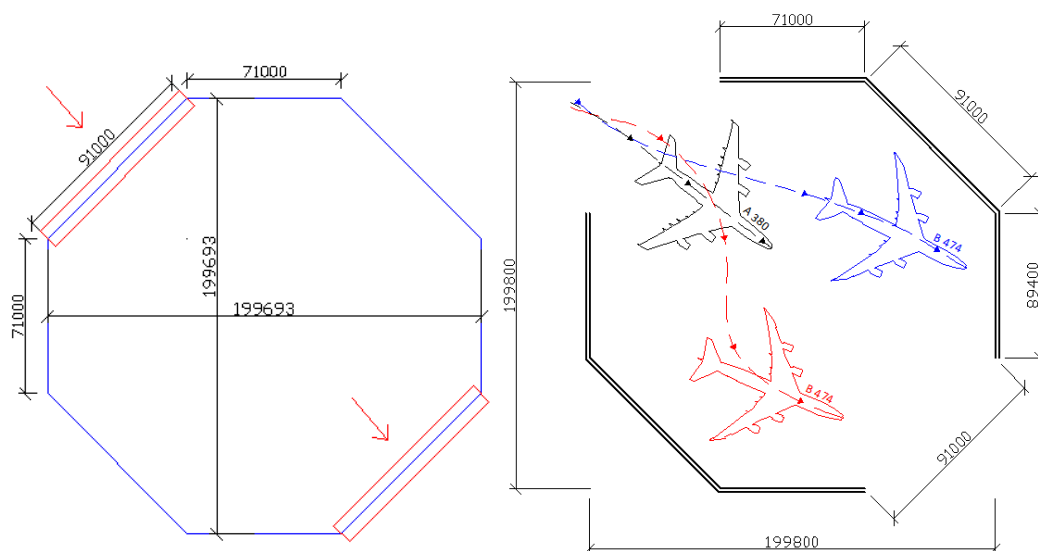
Půdorysný tvar je šestiúhelník s šířkou vratového prostoru 94,1 m. Vjezdy jsou na protilehlých stranách. Plocha půdorysu je 27 444,3 m².



Obr.č. 20 Půdorysné uspořádání - šestiúhelník

Půdorysný tvar osmiúhelníku – varianta B

Jedná se o nepravidelný osmiúhelník s šířkou vratového prostoru 91 m. Vjezdy jsou na protilehlých stranách. Půdorysná plocha je 27 456 m².



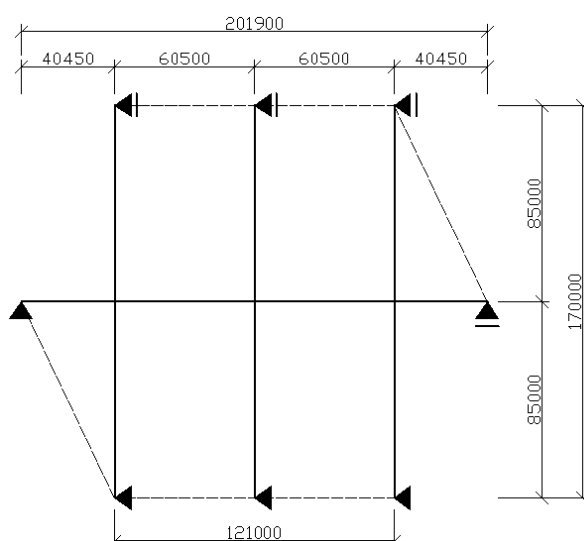
Obr.č. 21 Půdorysné uspořádání – osmiúhelník

Dispoziční řešení varianty B je výhodnější z důvodu volnějšího prostoru okolo stojících letadel uvnitř hangáru a také potřeby menší šířky vjezdového prostoru. Přestože půdorysná plocha obou variant se téměř neliší, je prostor uvnitř hangáru varianty B natolik volný, aby umožňoval bezproblémové pojezdy zaparkovaných letadel a jejich manipulaci. Proto není nutná ani větší šířka vjezdu a výjezdu. Na rozdíl od varianty A, kde je vnitřní prostor omezen daným půdorysným tvarem a kde musí být manipulační prostor pro vjezd a výjezd letadel co největší. Z tohoto plyne nutnost dimenzování portálového nosníku nad vraty na větší rozpětí, než je potřeba u varianty B.

3.2. Volba variant nosné soustavy

Půdorysný tvar šestiúhelníku

Konstrukci střechy haly tvoří tři hlavní příhradové nosníky s rozpětím 170 m a čtvrtý 201,9 m. Spojení mezi těmito nosníky je vhodnější zvolit jako roštové. Spojení bez pevné vazby mezi nosníky nezaručí dostatečnou tuhost a stabilitu nosné konstrukce. Nosníky jsou prostě uloženy. Čtvrtý nosník dosahuje největšího rozpětí 60,5 m a je tvořen čtyřmi poli. Krajní pole dosahuje délky 40,4 m. Půdorysná plocha je 27 438 m². Toto konstrukční řešení a také tvar půdorysu se jeví jako výhodné. Nesymetrické přitěžování nosníku tuto variantu znevýhodňuje.

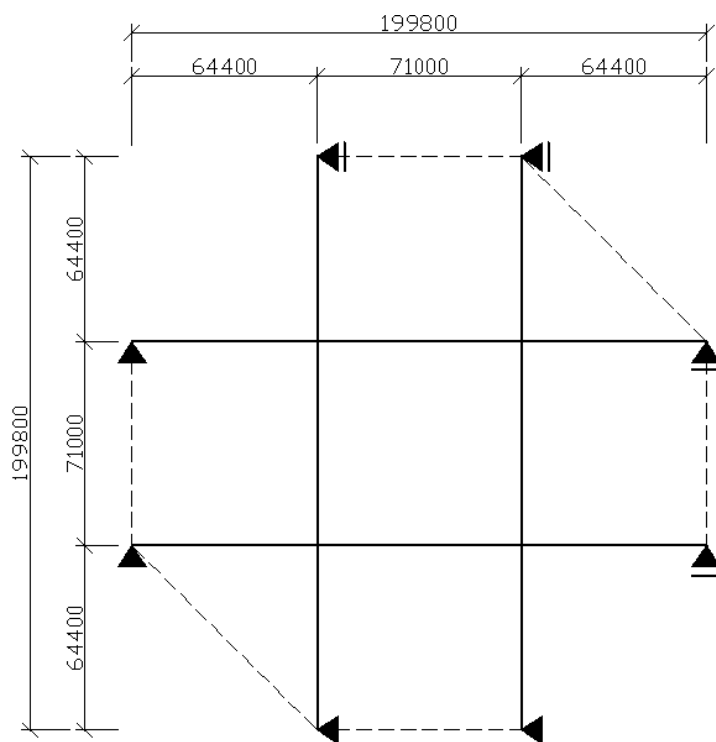


Obr.č. 22 Nosná soustava šestiúhelníkového půdorysu

Půdorysný tvar osmiúhelníku

Konstrukci střechy haly tvoří čtyři hlavní příhradové nosníky s rozpětím 199,7 m v obou směrech. Půdorysná plocha je 27 456 m². Spojení mezi nosníky je vhodnější zvolit jako roštové. Spojení bez pevné vazby mezi nosníky nezaručí dostatečnou tuhost a stabilitu nosné konstrukce. Zatížení se přenáší na hlavní rovnoběžné nosníky prostřednictvím vazníků. Každý nosník je na jedné straně uložen kloubově neposuvně a na druhé kloubově posuvně.

Výhodou půdorysného tvaru osmiúhelníku je rovnoměrné přenášení zatížení do hlavních nosníků. Tato výhoda upřednostňuje toto řešení oproti předchozímu. Pokud nejsou závažné důvody, například prostorové omezení od okolní zástavby, volím půdorys tvaru osmiúhelníku.



Obr.č. 23 Nosná soustava osmiúhelníkového půdorysu

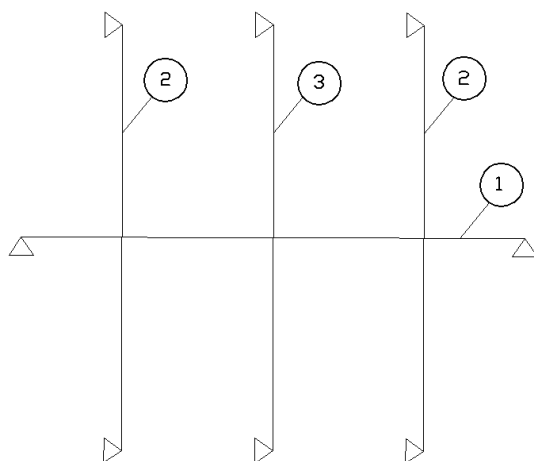
4. PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH NOSNÝCH PRVKŮ

Pro obě varianty nosné soustavy se provede jejich porovnání následujícím postupem. Předběžným výpočtem na velmi zjednodušeném výpočetním modelu roštu budou stanoveny přibližné velikosti vnitřních sil. Dále pak bude použit podrobnější výpočetní model příhradové konstrukce, který zohledňuje skutečné hodnoty působícího zatížení.

4.1. Porovnání variant na modelu jednoduchých nosníků

Varianta A

Základním nosným prvkem u varianty B je hlavní nosník 1 a tři vedlejší nosníky 2 a 3. Nosníky jsou vzájemně pevně propojeny a tvoří roštovou soustavu.



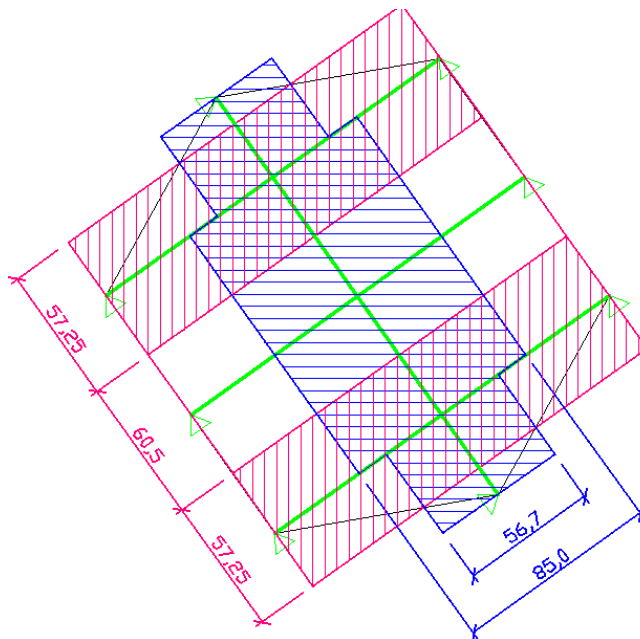
Obr.č. 24 Statické schéma varianty A

Hlavní nosník má rozpětí 201,87 m a vedlejší nosníky 170 m. Zatížení pro porovnání variant uvažují stejné. Zatížení od sněhu větru a vlastní tíhy byly určeny odhadem.

- Zatížení větrem $q_{b,0} = -1 \text{ kN/m}^2$
- Zatížení sněhem $s = 2 \text{ kN/m}^2$
- Zatížení vlastní tíhou $g_k = 1 \text{ kN/m}^2$

Zatěžovací šířky

Červenou barvou jsou znázorněny zatěžovací šířky pro vedlejší nosníky a modrou barvou pro hlavní nosník. Podle zatěžovacích šířek jsou nosníky ve schématu označeny čísly 1, 2 a 3.



Obr.č. 25 Zatěžovací šířky varianty A

Zatěžovací stavy a kombinace

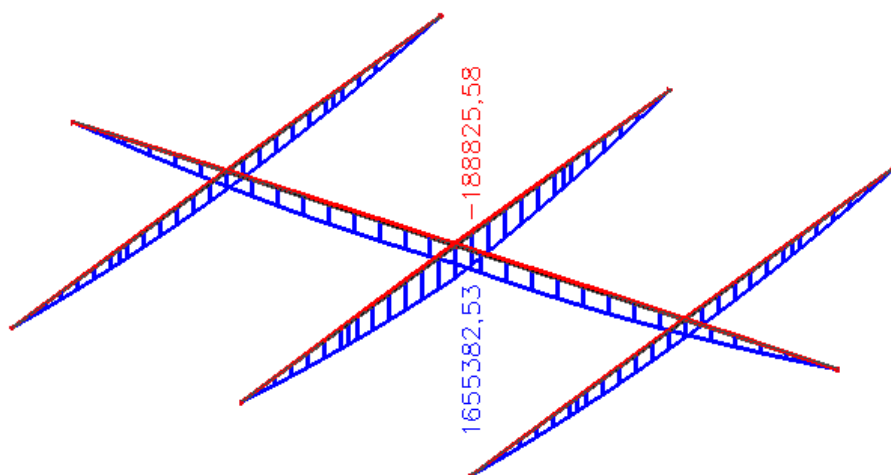
Kombinace byly stanoveny pro tři zatěžovací stavy :

- LC1 – vlastní tíha: dle zatěžovací šířky
- LC2 – zatížení sněhem: 121 kN/m
- LC3 – zatížení větrem (sání): -60,5 kN/m

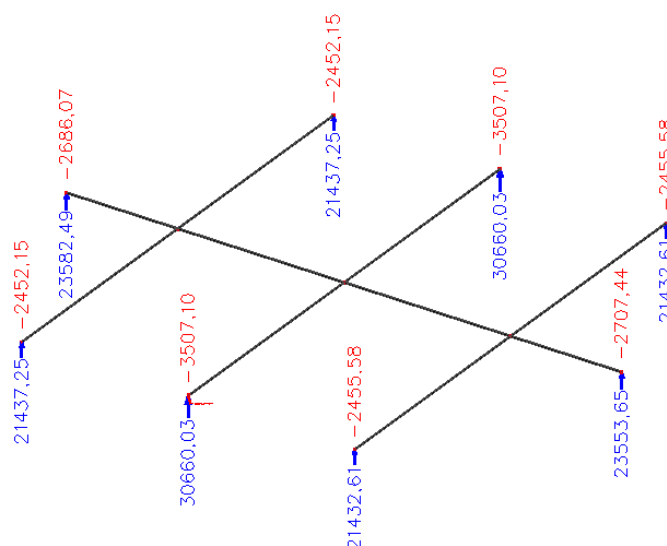
Nejhorší kombinace: CO= 1,35.LC1 + 1,5.LC2

Vnitřní síly

- Maximální ohybový moment $M_y = 1\,655\,383\text{ kNm}$
- Reakce $R_{z,max} = 30\,660\text{ kN}$



Obr.č. 26 Výstup vnitřních sil varianty A - obálka ohybových momentů M_y



Obr.č. 27 Výstup vnitřních sil varianty A- obálka reakcí R_y

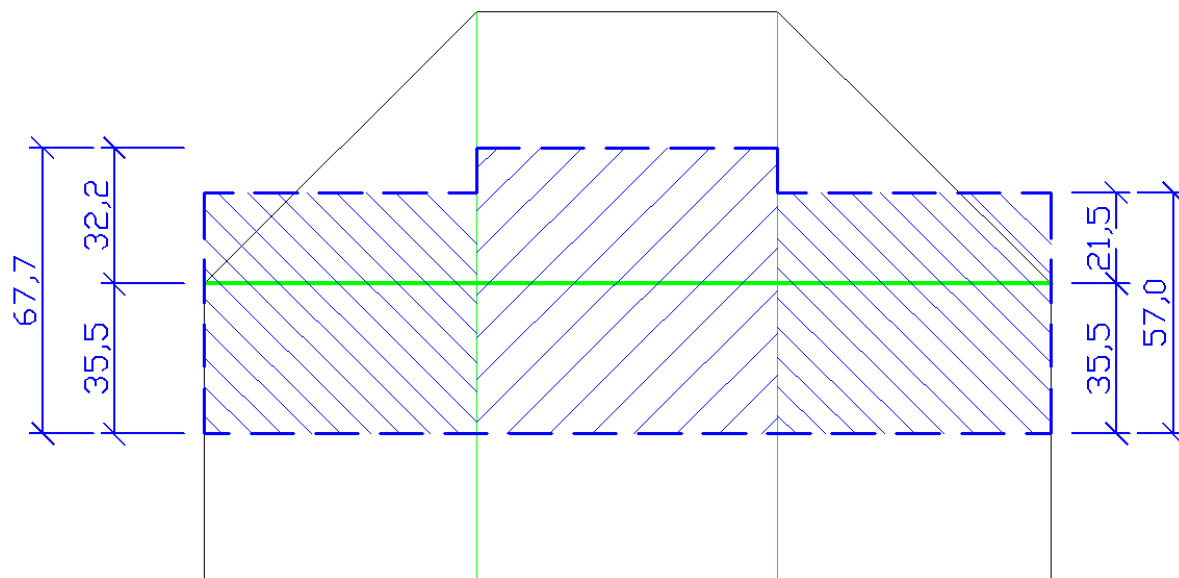
Varianta B

Základním nosným prvkem u varianty C jsou dva hlavní a dva na ně kolmé vedlejší nosníky. Nosníky jsou od sebe osově vzdáleny 71 m. Jsou vzájemně pevně propojeny a tvoří roštovou soustavu. Hlavní i vedlejší nosníky mají rozpětí 199,7 m.

- Základní tlak větru $q_{b,0} = -1 \text{ kN/m}^2$
- Zatížení sněhem $s = 2 \text{ kN/m}^2$
- Zatížení vlastní tíhou $g_k = 1 \text{ kN/m}^2$

Zatěžovací šířky

Díky symetrii tvaru půdorysu jsou zatěžovací šířky pro osově souměrná pole stejné. Na obrázku jsou znázorněny zatěžovací šířky na jednom ze symetrických nosníků.



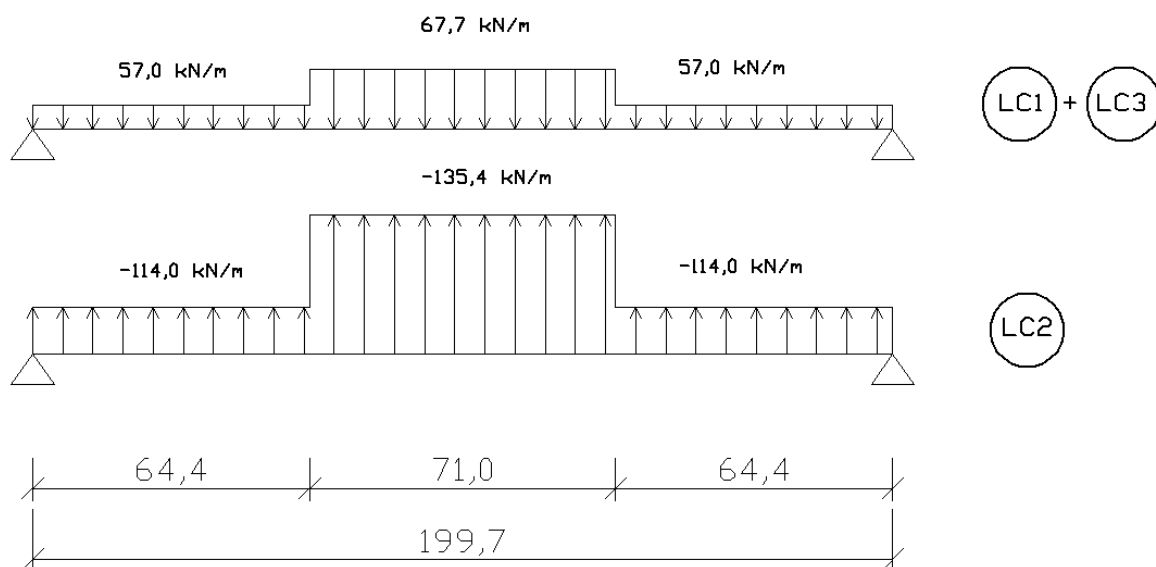
Obr.č. 28 Zatěžovací šířky varianty B

Zatěžovací stavy a kombinace

Kombinace byly stanoveny pro tři zatěžovací stavy (hodnoty viz Obr. 28) :

- LC1 – vlastní tíha
- LC2 – zatížení sněhem
- LC3 – zatížení větrem (sání)

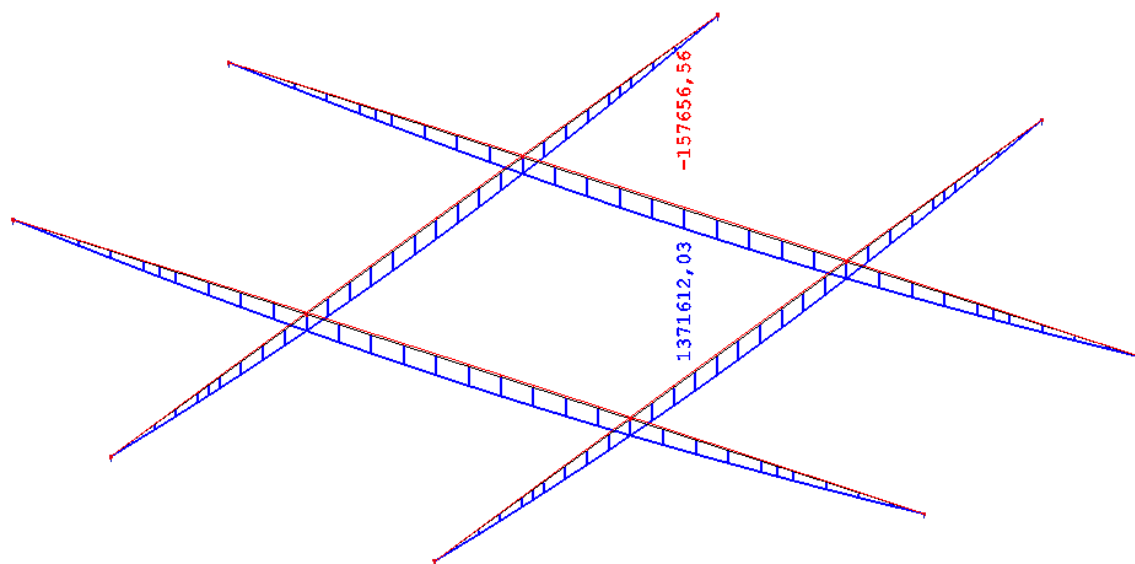
Nejhorší kombinace: $CO = 1,35.LC1 + 1,5.LC2$



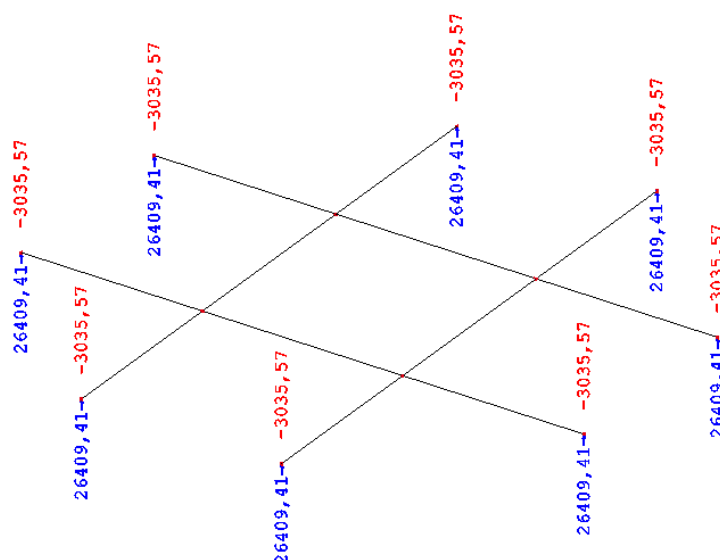
Obr.č. 29 Zatěžovací schéma jednoho z nosníků

Vnitřní síly

- Maximální ohybový moment $M_y = 1\,371\,612\text{ kNm}$
- Reakce $R_y = 26\,409\text{ kN}$



Obr.č. 30 Výstup vnitřních sil varianty B - obálka ohybových momentů M_y



Obr.č. 31 Výstup vnitřních sil varianty B - obálka reakcí R_y

Z výpočtu vyplývá, že varianta B je příznivější z hlediska velikosti vnitřních sil. Ale hodnoty těchto vnitřních sil reprezentované ohybovým momentem přesahují hodnoty napětí pro dostupné, běžně vyráběné ocelové profily. I když vypočtený ohybový moment způsobený odhadnutými velikostmi zatížení je u varianty B o 20 % nižší než u varianty A je i přesto nepřijatelný. Konstrukce řešená jednoduchými prostými nosníky spojeny pevnými vazbami není pro takto velké rozpětí použitelná.

4.2. Porovnání variant na modelu jednoduché příhradové konstrukce

Pro další rozhodování o vhodnosti jedné z variant je důležitým předpokladem hmotnost nosné konstrukce. Takto můžeme zjistit ekonomickou náročnost. Zvláště u těchto velkorozponových konstrukcí je velmi důležitá a přináší značné úspory materiálu, náklady při manipulaci, přepravu a náročnost výroby dílců a částí konstrukcí. Následující předběžné posouzení variant složitějších příhradových konstrukcí je provedeno na působení reálného vypočteného zatížení.

4.2.1. **Výpočet zatížení**

Na oba typy konstrukcí působí tyto zatížení:

- vlastní tíhou;
- větrem;
- sněhem.

Zatížení vlastní tíhou

Vlastní tíha je automaticky generována výpočetním programem.

Klimatické zatížení větrem

Je stanoveno na základě normativních postupů dle platné evropské normy. Konstrukce z hlediska klimatického zatížení spadá do lokality Praha a okolí, pro kterou je určena střední rychlost větru z mapy větrových oblastí v ČR.

Rychlost a tlak větru

Výchozí rychlost větru dle mapy větrových oblastí

Oblast I - $v_{b,0} = 22,5 \text{ m/s}$

Součinitel směru větru c_{dir} a součinitel ročního období c_{season} uvažuje se hodnota 1,00

$$\text{Základní tlak větru } q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,5^2 = 14,06 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Základní rychlost větru } v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 22,5 = 22,5 \text{ m/s}$$

Místní vlivy

$$\text{Součinitel drsnosti } c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,19 \cdot \ln \frac{24,2}{0,05} = 1,175$$

Výška nad terénem $z = 24,2 \text{ m}$

Parametr drsnosti terénu pro kategorii terénu II. s nízkou vegetací: $z_0 = 0,05$

$$\text{Součinitel terénu } k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

$$\text{Střední rychlost větru } v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,175 \cdot 1 \cdot 25 = 29,36 \text{ m/s}$$

Charakteristický maximální dynamický tlak

$$\text{Charakteristický maximální dynamický tlak } q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 2,942 \cdot 14,06 = 1,15 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice $c_e(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_0(z)^2 \cdot cr(z)^2 = (1 + 7 \cdot 0,162) \cdot 1 \cdot 1,175^2 = 2,942$

Intenzita turbulence $I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{24,2}{0,05}} = 0,162$

Součinitel vnějšího a vnitřního tlaku

$c_{pe,10}$ – viz tabulka č. 1

$c_{pi} = +0,2; -0,3$

TAB.Č.1 Výsledné tlaky větru – charakteristické hodnoty

typ ploché střechy		Oblast			
		F	G	H	I
		$c_{pe,10}$			
ostré hrany		-1,8	-1,2	-0,7	0,2 -0,2
$w = w_i + w_e$ [kN/m ²]	w_k^{F-}	-1,86			
	w_k^{G-}		-1,30		
	w_k^{H-}			-0,84	
	w_k^{I-}				0,47
	w_k^{L-}				-0,37

Klimatické zatížení sněhem

Z hlediska klimatického zatížení spadá konstrukce do lokality Praha a okolí. Charakteristická hodnota zatížení sněhem pro tuto oblast dle mapy sněhových oblastí je $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$. Zatížení na ploché střeše uvažuji jako rovnoměrně rozložené po celé ploše.

Součinitel expozice dle typu krajiny – otevřená $C_e = 0,8$

Tepelný součinitel $C_t = 1,0$

Tvarový součinitel $\eta_1 = 0,8$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem

$$s_k = C_t \cdot C_e \cdot \eta_1 \cdot s_k = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 0,448 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení na únosnost a použitelnost

Prvky konstrukčních modelů jsou zjednodušeně posouzeny dle mezního stavu únosnosti. Na mezní stav použitelnosti předběžné varianty nejsou posouzeny.

4.2.2. *Předběžný návrh a posouzení*

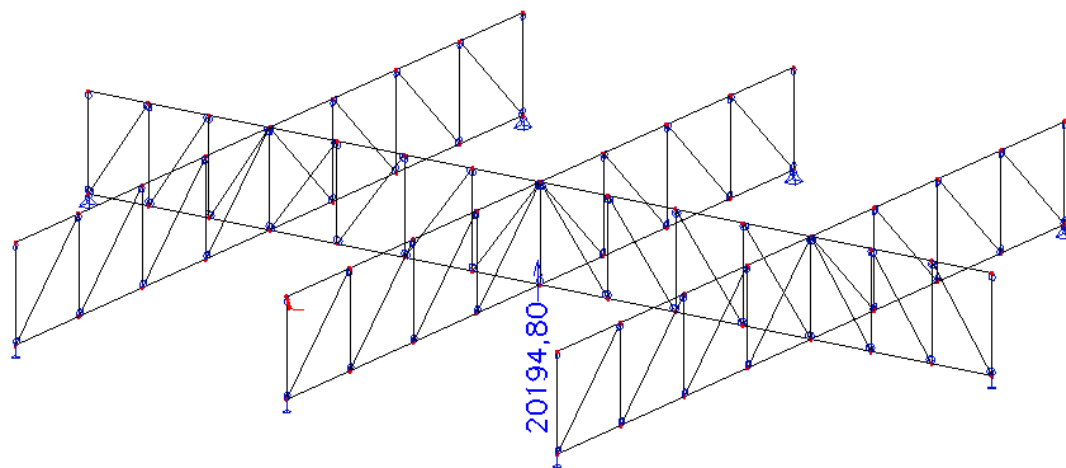
Varianta A

Zatížení

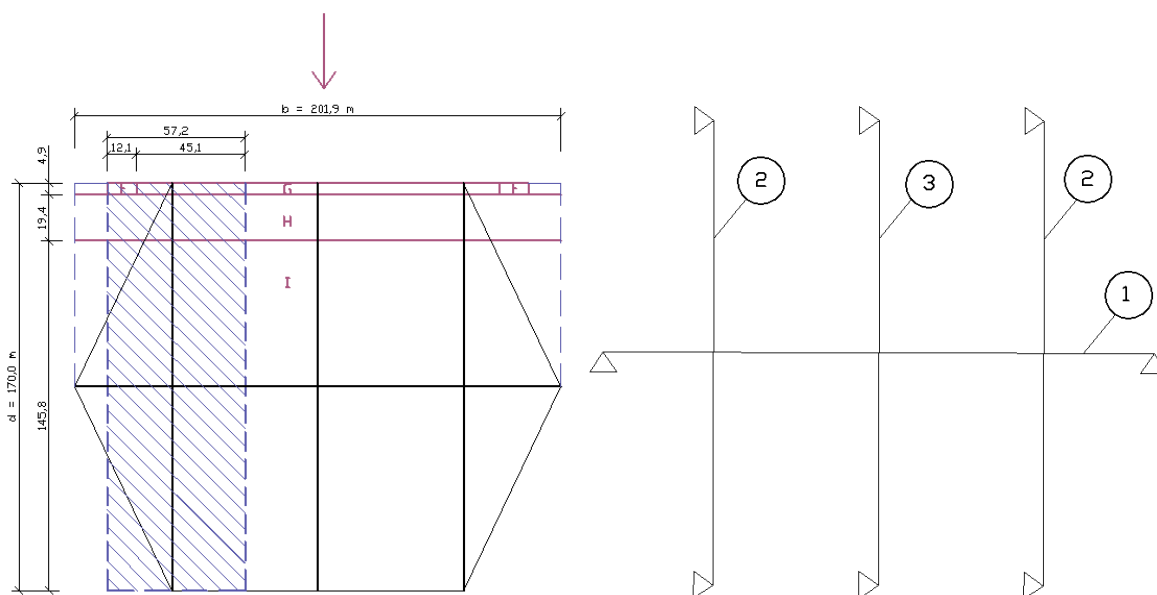
Všechna zatížení byla přepočtena na liniová.

Vlastní tíha – LC1

Pro představu je zde schématicky znázorněná výslednice vlastní tíhy celé konstrukce, která nabývá hodnoty 20 194,8 kN.



Obr.č. 32 Výslednice vlastní tíhy varianty A



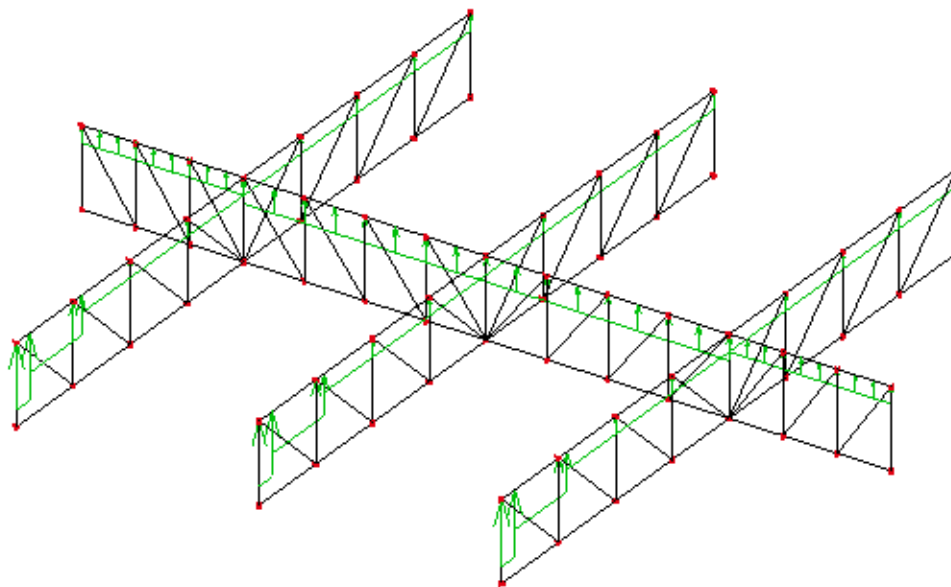
Obr.č. 33 Oblasti větru v příčném směru a číselné označení příhradových nosníků

Zatížení větrem – LC2

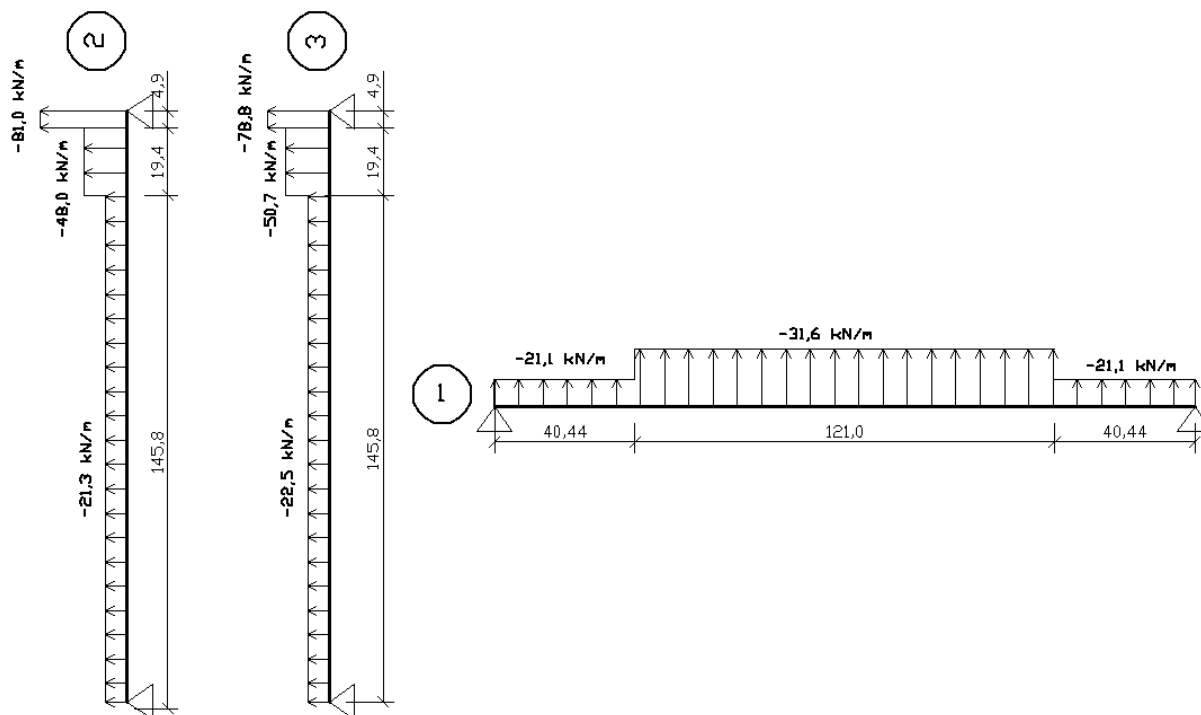
Pro jednotlivé zatěžovací šířky nosníků 1, 2 a 3 byly určeny hodnoty zatížení větrem dle oblastí v následující tabulce:

TAB.č.2 Zatížení větrem - varianta A

NOSNÍK 2			
Oblast	zatěžovací šířka [m]	na délce [m]	tlak [kN/m]
F	12,1	4,9	-81,3
G	45,1	4,9	
H	57,25	19,4	-48,0
I	57,25	145,8	-21,3
NOSNÍK 3			
Oblast	zatěžovací šířka [m]	na délce [m]	tlak [kN/m]
G	60,5	4,9	-78,8
H	60,5	19,4	-50,7
I	60,5	145,8	-22,5
NOSNÍK 1			
Oblast	zatěžovací šířka [m]	na délce [m]	tlak [kN/m]
I	56,7	40,437	-21,1
I	85	121	-31,6



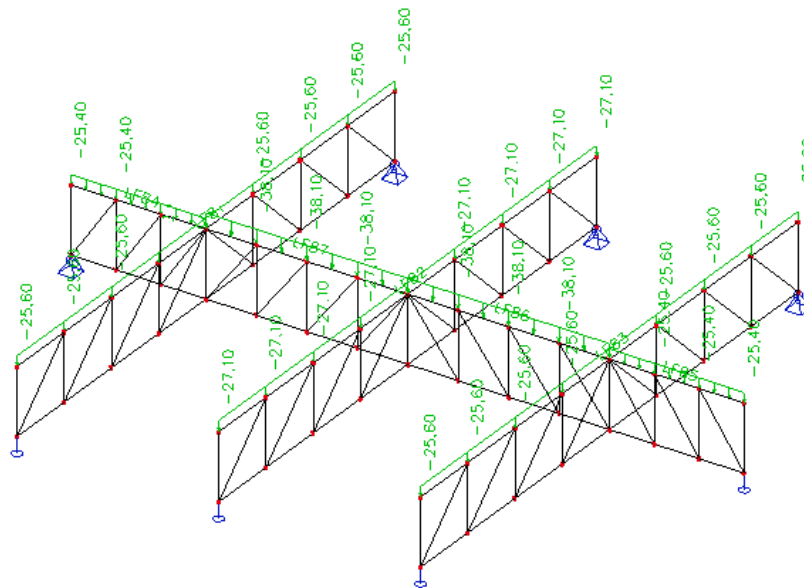
Obr.č. 34 Zatěžovací stav LC2 – vít varianty A



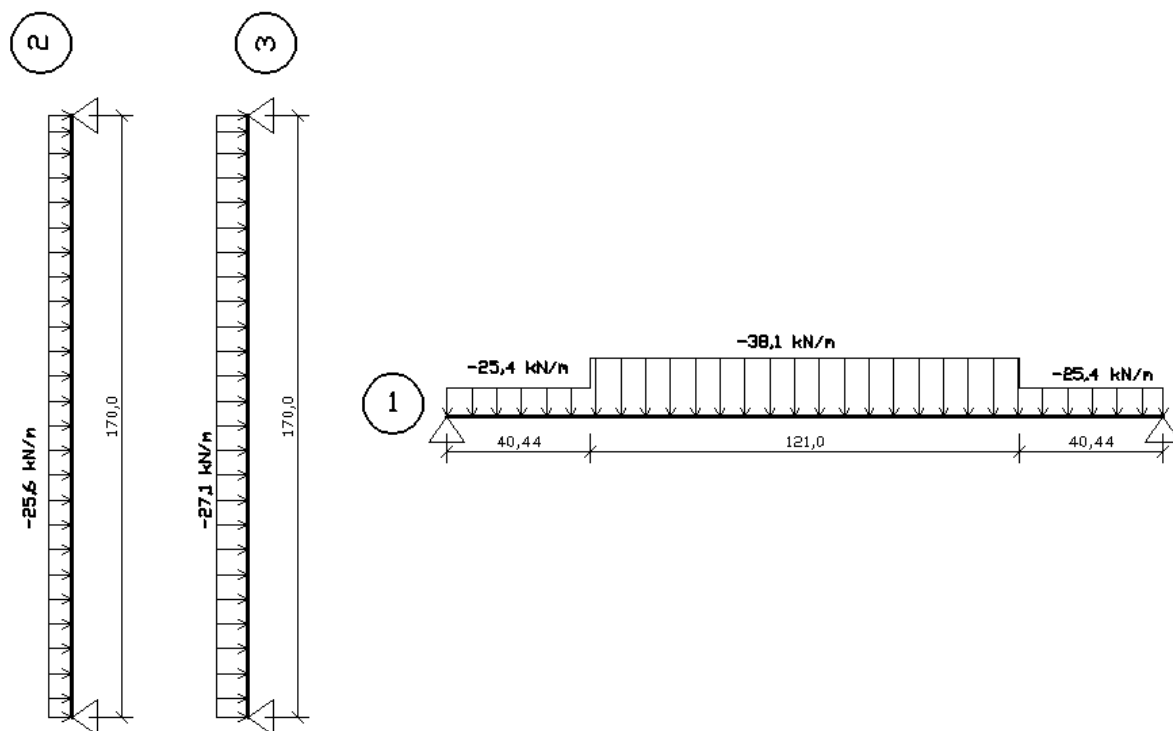
Obr.č. 35 Schéma zatížení sání větru varianty A

Zatížení sněhem – LC2

Zatížení na ploché střeše uvažuji jako rovnoměrně rozložený po celé ploše.



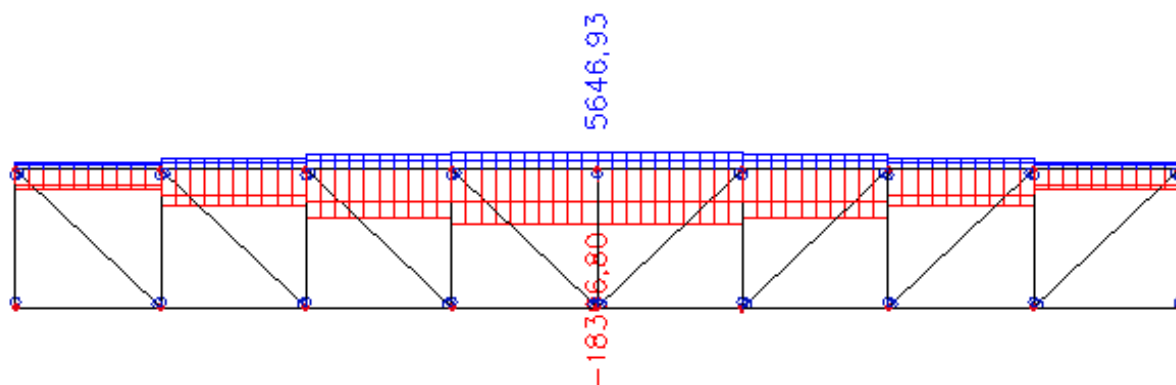
Obr.č. 36 Zatěžovací stav LC2- sníh varianty A



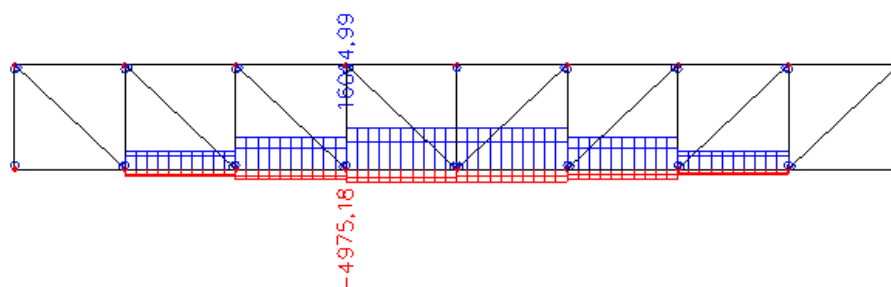
Obr.č. 37 Schéma zatížení sněhem varianty A

Výpočet vnitřních sil

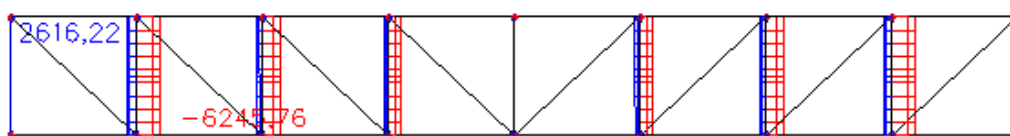
Dle kombinační rovnice pro trvalé a dočasné návrhové situace v mezních stavech únosnosti typu STR/GEO – soubor B. Pro všechny prvky je použita nejneprůznivější kombinace zatížení. Výpočet vnitřních sil byl proveden pomocí programu Scia Engineering.



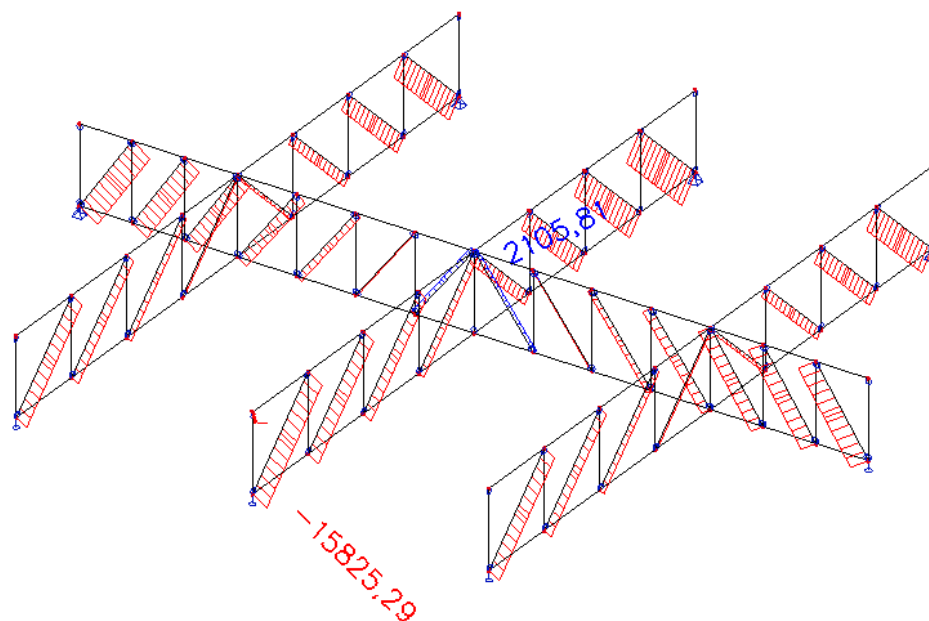
Obr.č. 38 Výstupy normálových sil – horní pás varianty A



Obr.č. 39 Výstupy normálových sil – dolní pás varianty A



Obr.č. 40 Výstupy normálových sil – svislice varianty A



Obr.č. 41 Výstupy normálových sil – diagonály v

Posouzení dle MSÚ

Jednotlivé návrhy průřezů a jejich posouzení včetně procentuálního využití jsou uvedena v tabulce. Průřezy byly navrhovány pro horní a dolní pásy, svislice a diagonály. Součinitel vzpěrnosti byl určen odhadem na hodnotu 0,75.

Návrhová únosnost prutu na vzpěrný tlak a tah

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m2}}$$

Posouzení

- V tlaku

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- V tahu

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

TAB.Č.3 Posouzení na tlak a tah - varianta A

Posouzení na tlak a tah – VAR A				
	Dolní pásy - DP	Horní pásy - HP	Svislice - S	Diagonály - D
$N_{Ed} [kN]$	16014,9	5646,9	2616,2	9 484,60
$N_{Ed} [kN]$	-4975,2	-18396,8	-6245,8	-3 536,90
$A_{min} [mm^2]$	0,0601	0,0691	0,0235	0,0356
Profil	TR 762x30	TR 914x30	TR 660x14,2	TR 457x25
$\chi_y [-]$	0,75	0,75	0,75	0,75
$\chi_z [-]$	0,75	0,75	0,75	0,75
$N_{b,Rd} [kN]$	16 590,50	22 286,75	7 670,54	8 431,41
$N_{t,Rd} [kN]$	24 491,23	29 576,84	10 227,39	12 044,87
$A [mm^2]$	0,07	0,08	0,03	0,03
Využití v tahu	65%	19%	26%	79%
Využití v tlaku	30%	83%	81%	42%

χ – součinitel vzpěrnosti, A_{min} – minimální plocha průřezu, A – skutečná plocha průřezu

Celková hmotnost varianty A

Hmotnost byla spočtena programem Scia. Celková hmotnost konstrukce je 1 305,7 tun, což je 6 467 kg/m.

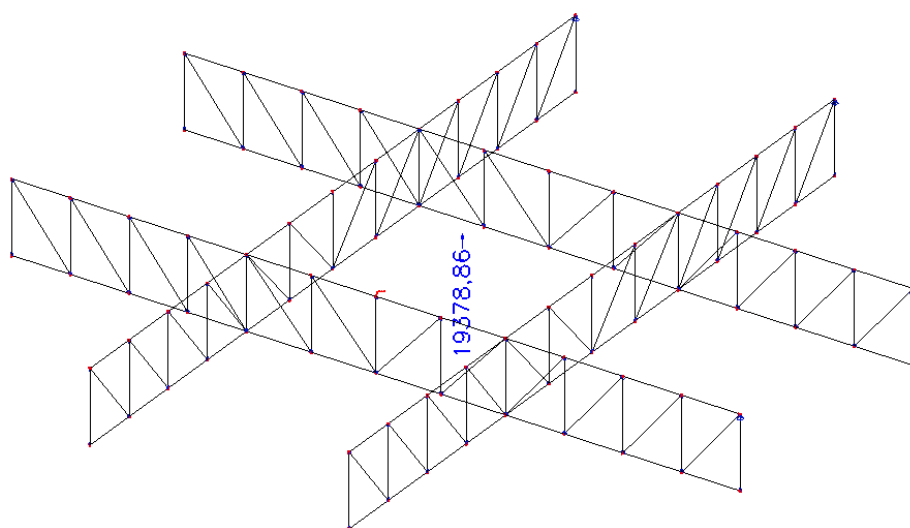
Varianta B

Zatížení

Všechna zatížení byla přepočtena na liniová.

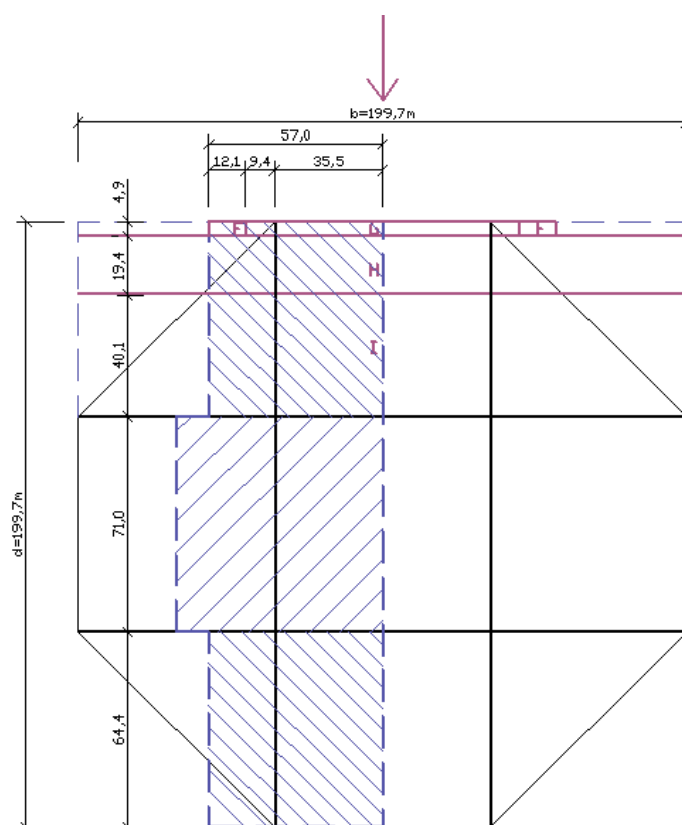
Vlastní tíha

Vlastní tíha je automaticky generována programem Scia engineering. Pro představu je zde schématicky znázorněná výslednice vlastní tíhy celé konstrukce, která nabývá hodnoty 19 379 kN.



Obr.č. 42 Výslednice vlastní tíhy vrianity B

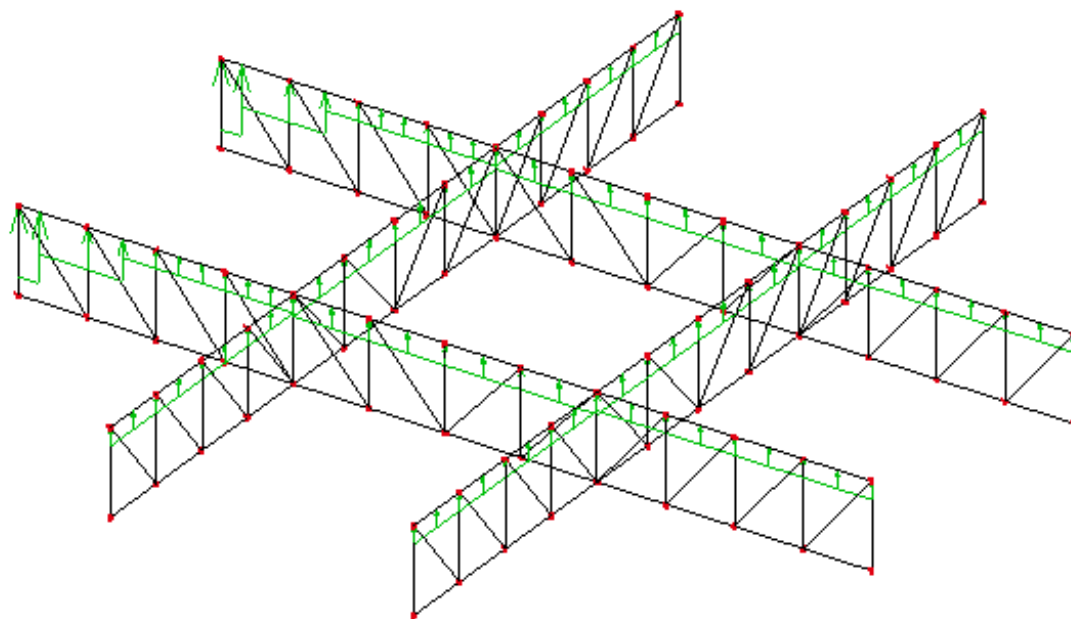
Zatížení větrem



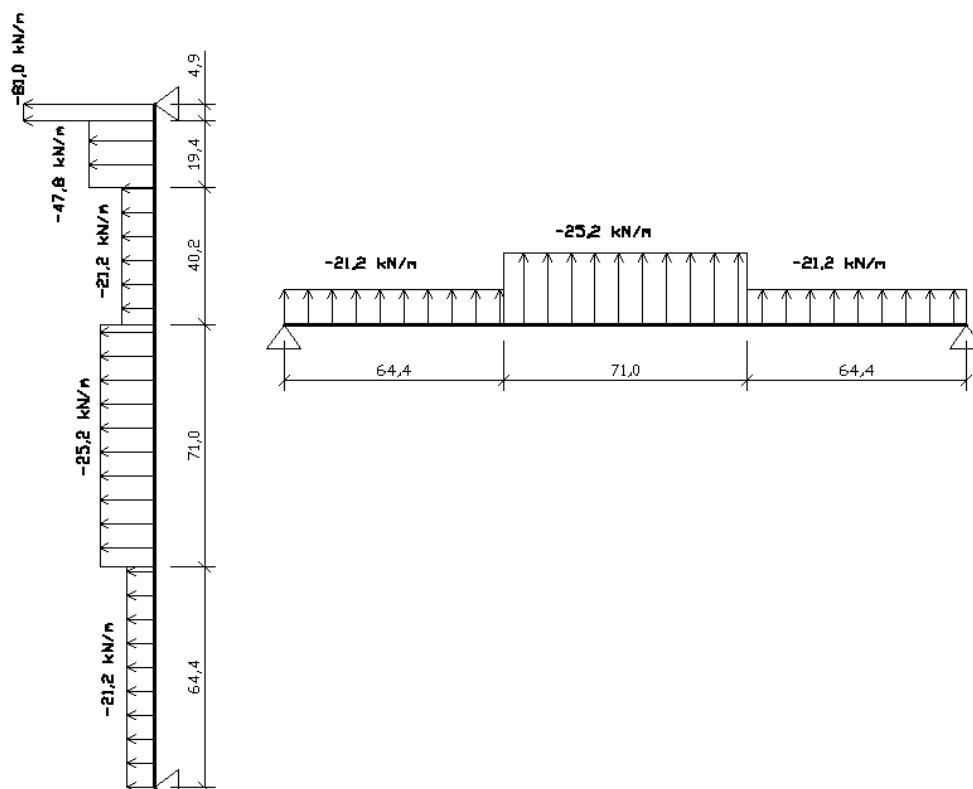
Obr.č. 43 Oblasti větru v příčném směru vrianity B

TAB.Č.4 Zatížení větrem – varianta B

NOSNÍK 2			
Oblast	zatěžovací šířka [m]	na délce [m]	tlak [kN/m]
F	12,1	4,9	-81,0
G	44,9	4,9	
H	57	19,4	-47,8
I	57	40,1	-21,2
	67,7	71	-25,2
	57	64,4	-21,2



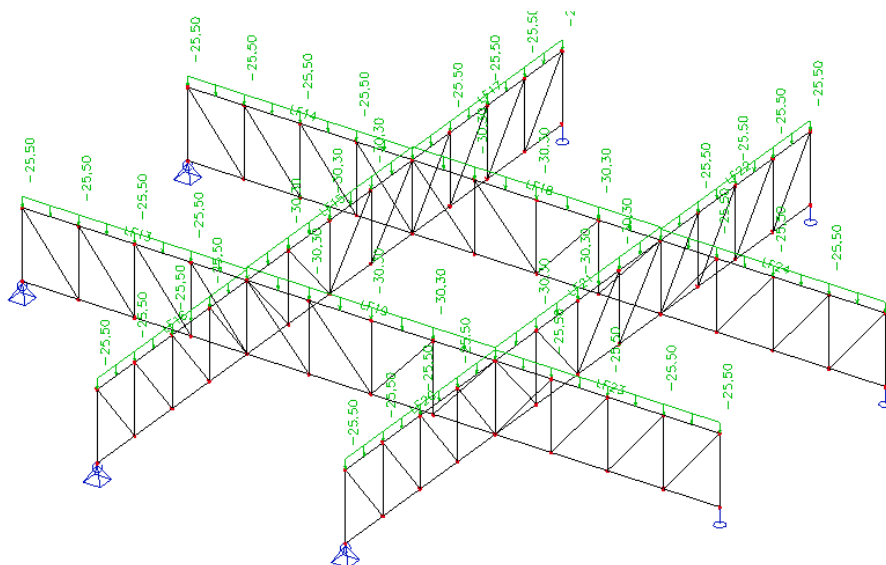
Obr.Č. 44 Zatěžovací stav LC2 – vítr varianty B



Obr.č. 45 Schéma zatížení větrem varianty B

Zatížení sněhem

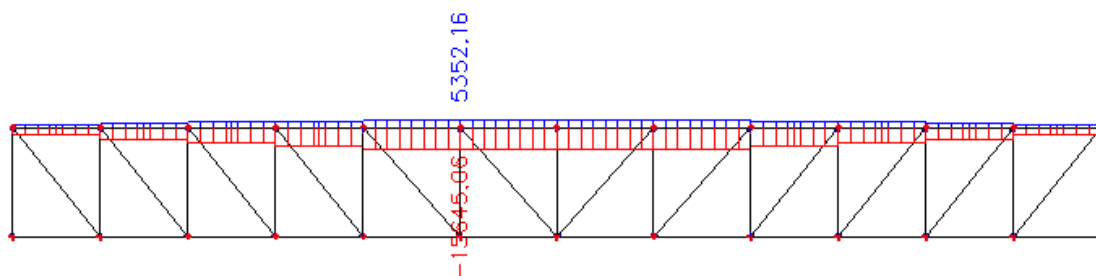
Zatížení na ploché střechy uvažuji jako rovnoměrně rozložené po celé ploše.



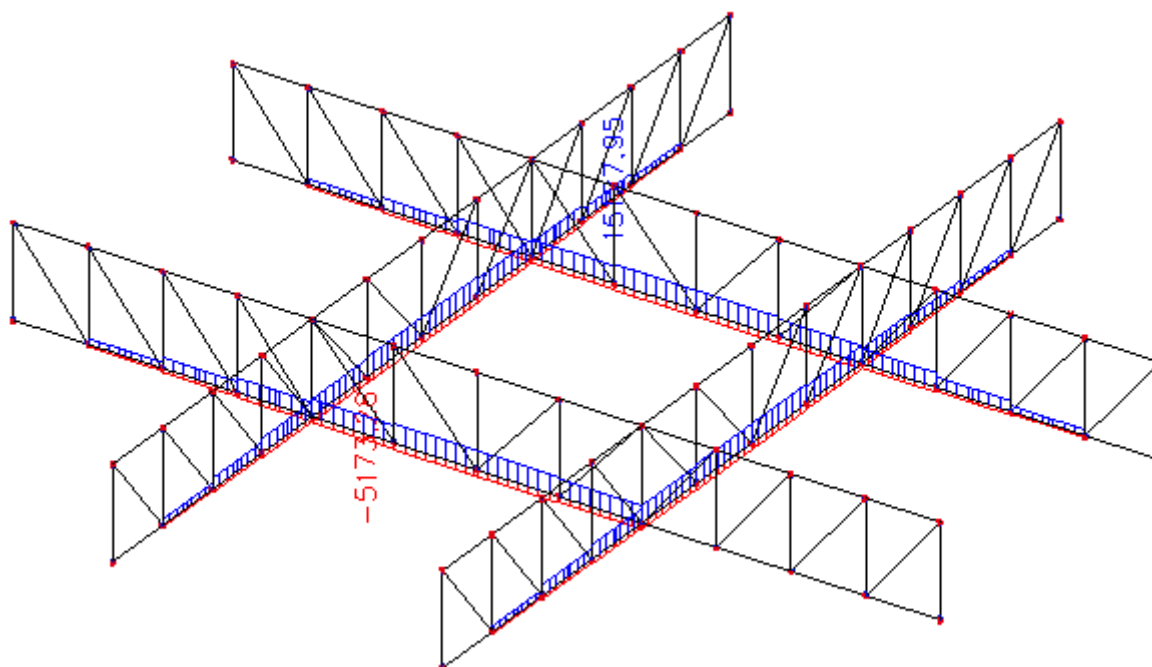
Obr.č. 46 Zatěžovací stav LC2- sníh varianty B

Výpočet vnitřních sil

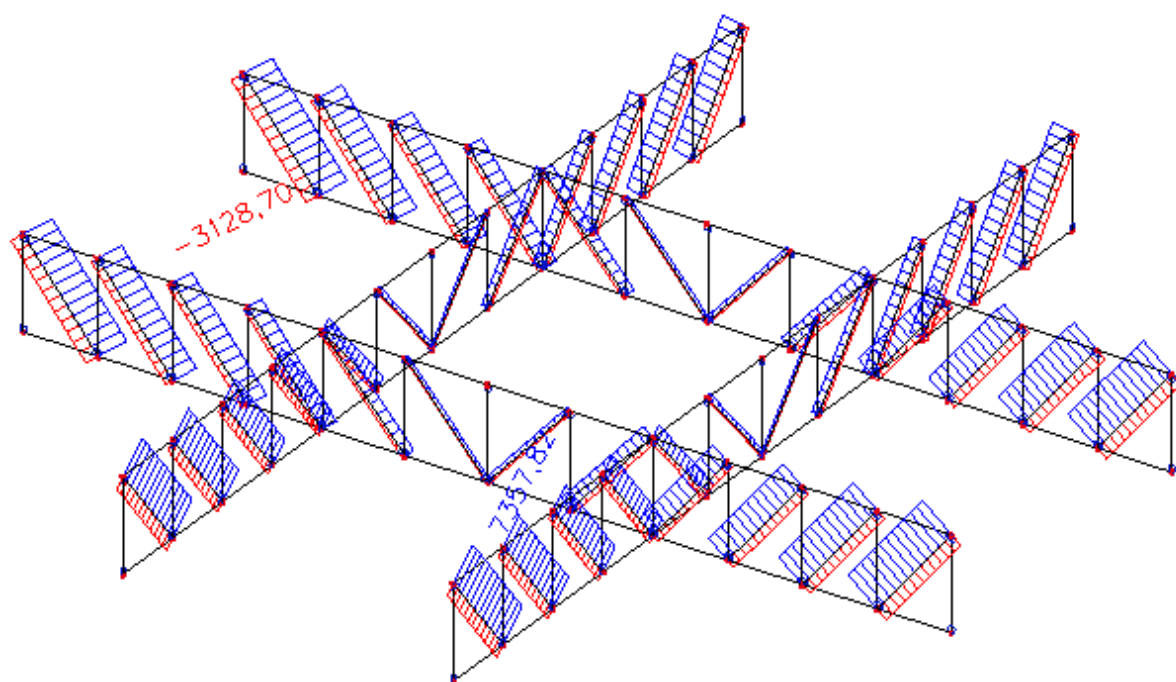
Dle kombinační rovnice pro trvalé a dočasné návrhové situace v mezních stavech únosnosti typu STR/GEO – soubor B[3]. Pro všechny prvky je použita nejnepříznivější kombinace zatížení. Výpočet vnitřních sil byl proveden pomocí programu Scia Engineering.



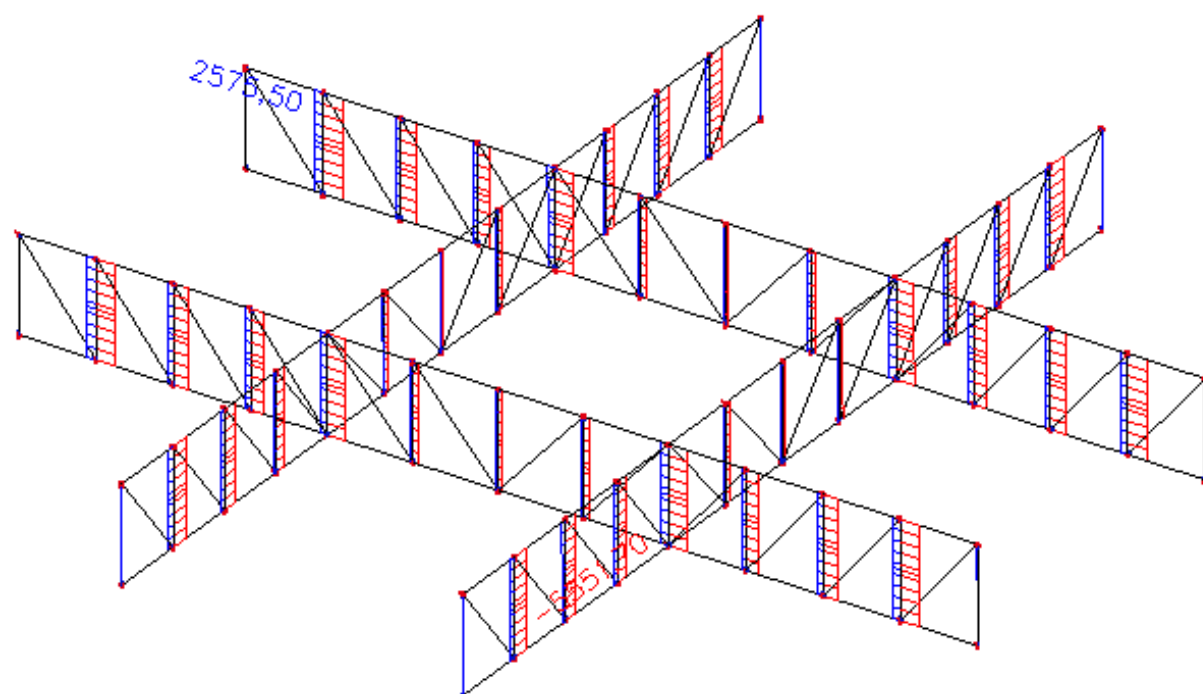
Obr.č. 47 Výstupy normálových sil varianty B – horní pás



Obr.č. 48 Výstupy normálových sil varianty B – dolní pás



Obr.č. 49 Výstupy normálových sil varianty B – diagonály



Obr.č. 50 Výstupy normálových sil varianty B – svislice

Posouzení dle MSÚ

Jednotlivé návrhy průřezů a jejich posouzení včetně procentuálního využití jsou uvedeny v tabulce. Průřezy byly navrhovány pro horní a dolní pásy, svislice a diagonály. Součinitel vzpěrnosti byl stanoven odhadem na hodnotu 0,75.

Návrhová únosnost prutu na vzpěrný tlak a tah:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m2}}$$

Posouzení

- V tlaku

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- V tahu

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

TAB.č.5 Posouzení na tlak a tah - varianta B

Posouzení na tlak a tah – VAR B				
	Dolní pásy - DP	Horní pásy - HP	Svislice - S	Diagonály - D
$N_{Ed,tah} [kN]$	15127,9	5352,1	2575,5	7 357,80
$N_{Ed,tlak} [kN]$	-5173,3	-15645,1	-5551,7	-3 128,70
$A_{min} [mm^2]$	0,0568	0,0588	0,0209	0,0276
Profil	TR 660x30	TR 660x30	TR 660x14,2	TR 660x14,2
$\chi_y [-]$	0,75	0,75	0,75	0,75
$\chi_z [-]$	0,75	0,75	0,75	0,75
$N_{b,Rd} [kN]$	17 118,90	18 332,37	7 670,54	7 670,54
$N_{t,Rd} [kN]$	21 078,52	21 078,52	10 227,39	10 227,39
$A [mm^2]$	0,06	0,06	0,03	0,03
Využití v tahu	72%	25%	25%	72%
Využití v tlaku	30%	85%	72%	41%

χ – součinitel vzpěrnosti, A_{min} – minimální plocha průřezu, A – skutečná plocha průřezu

Celková hmotnost varianty B

Hmotnost byla spočtena programem Scia. Celková hmotnost konstrukce je 1 243,9 tun, což je 6 229,2 kg/m.

Z předešlých výpočtů vyplývá, že varianta A je z hlediska hmotnosti (1 243,9 tun) o 5% výhodnější než varianta B (1 305,7 tun). A o 4% hmotnosti na metr délky.

4.3. Zhodnocení předběžných návrhů

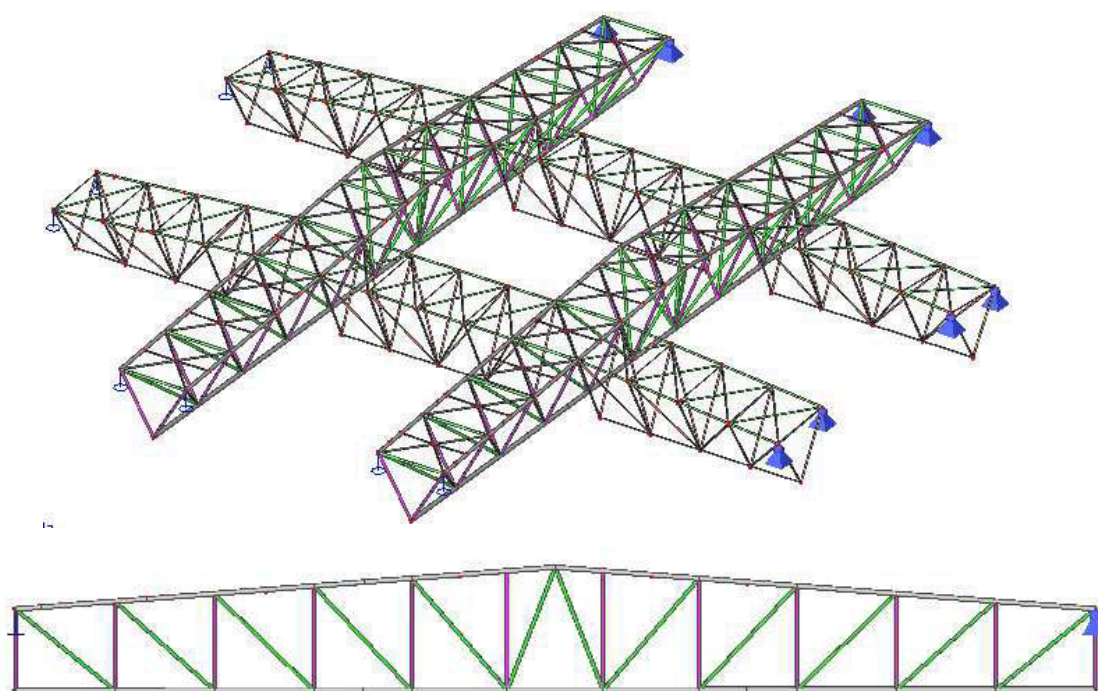
Použité konstrukční modely v kapitole 5.1 a 5.2 nevystihují dostatečně, jak očekávané chování jednotlivých konstrukčních prvků, tak předpokládané chování konstrukce jako celku, tedy ztužení a stabilitu. Proto je třeba vytvořit komplexnější model, který vystihne předpokládané interakce mezi charakterem působícího zatížení a odezvou konstrukce.

5. NÁVRH ZASTŘEŠENÍ HANGÁRU

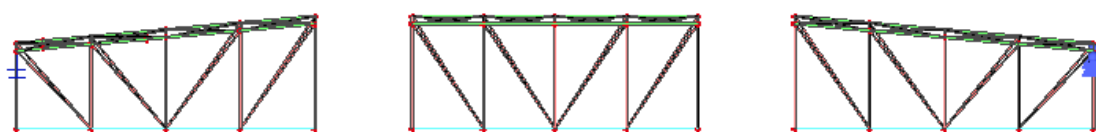
5.1. Popis hlavních a vedlejších nosníků

Nosná konstrukce zastřešení je řešena jako prostorová příhradová soustava, kde hlavními nosnými prvky jsou dva hlavní trojboké nosníky a kolmo k nim dva vedlejší trojboké nosníky. Hlavní nosníky jsou podepřeny na koncích horních pásů z jedné strany kloubově neposuvně a na druhé kloubově posuvně. Nosníky musí být podpírány masivními sloupy (v rámci diplomové práce nejsou řešeny). Hlavní nosníky mají horní pás sedlového tvaru se sklonem 5° s rozpětím 199,8 m. Dvojice vedlejších nosníků mají v prostoru mezi hlavními nosníky plochý tvar a kopírují sklon hlavních nosníků. Tyto prostě uložené části, s rozpětím 71 m, jsou podepírány dvojicemi hlavních nosníků u horních pásů. Části za hlavními nosníky, s rozpětím 64,4 m, jsou také ve sklonu 5° a jsou řešeny jako prosté nosníky pultového tvaru, které jsou na jedné straně podepřeny při horních pásech hlavním nosníkem a na straně druhé jej podepírají sloupy. Světlá výška hangáru je volena s ohledem na rozměry letadel 24,2 m. Celková výška je potom 47 m.

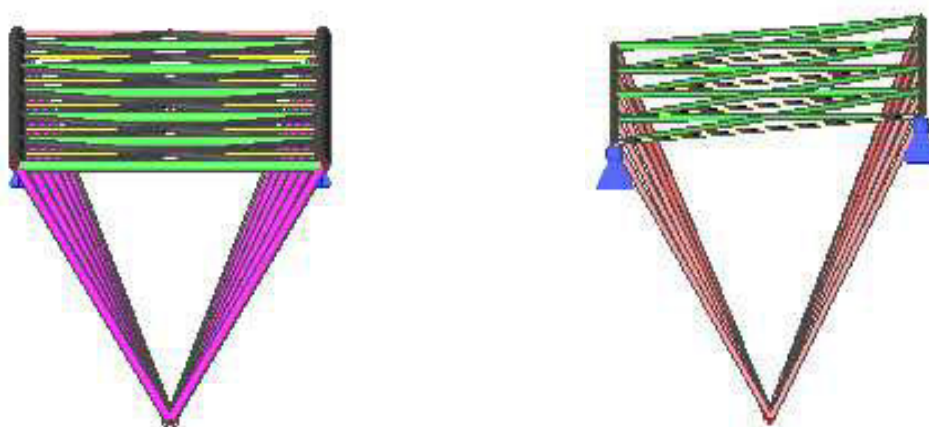
Průřez těchto příhradových nosníků je složen z dvojice tlačných horních pásů a z jednoho taženého pásu trubkových profilů. Horní pásy hlavních nosníků jsou od sebe vzdáleny 18 m. Proti vybočení v rovině jsou zabezpečeny svislicemi, z roviny jej zajišťují vazníky. Zavětrování horních pásů je řešeno diagonálním spojením mezi svislicemi v rovině pásů. Vybočení diagonálních prvků zavětrování zajišťují příčky, které jsou umístěny mezi horními pásy a protínají křížící se diagonály zavětrování. Tyto příčky jsou nutné pro hlavní nosníky. Vybočení z roviny ztužení horních pásů vedlejších nosníků je zajištěno vždy tahem jedné z diagonál ztužení. Zavětrování horních pásů je řešeno diagonálním spojením mezi svislicemi v rovině pásů. Horní pásy vedlejších nosníků jsou od sebe vzdáleny 18,13 m. Jsou vůči sobě zrcadlově otočeny. Jsou zajištěny proti ztrátě stability stejně jako horní pásy hlavních nosníků.



Obr.č. 51 Pohled na hlavní nosník



Obr.č. 52 Pohled na vedlejší nosník

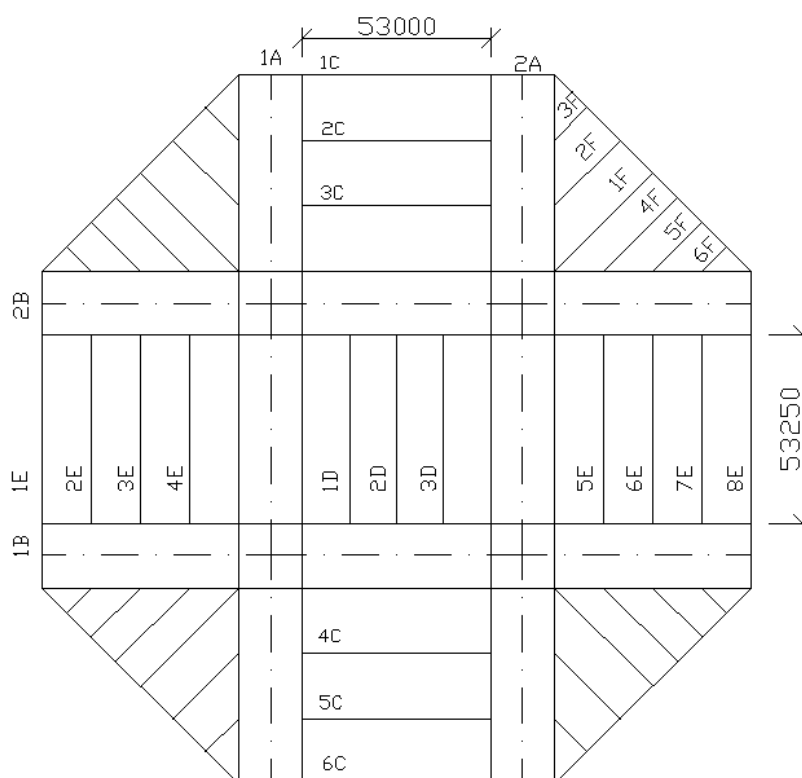


Obr.č. 53 Tvar průřezu hlavního nosníku a tvar průřezu vedlejšího nosníku

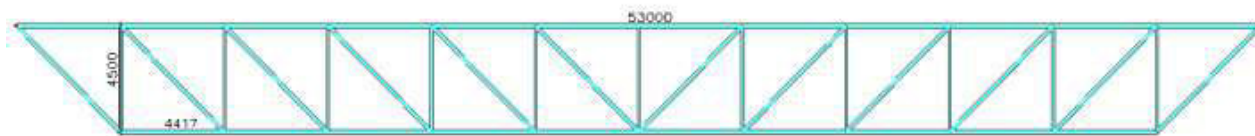
5.2. Popis vaznic a vazníků

Hlavní a vedlejší nosníky (A, B) jsou při horním pásu přitěžovány v uzlech vazníky, které přenášejí zatížení od vaznic a střešního pláště a zároveň zkracují vzpěrnou délku horních pásů nosníků. Prostě uložené vazníky jsou řešeny jako rovinné příhradové nosníky a jsou z jedné strany podepírány při horním pásu. Vazníky jsou rozděleny na 4 typy (C, D, E, F) podle toho, ve kterém místě jsou mezi nosníky umístěny.

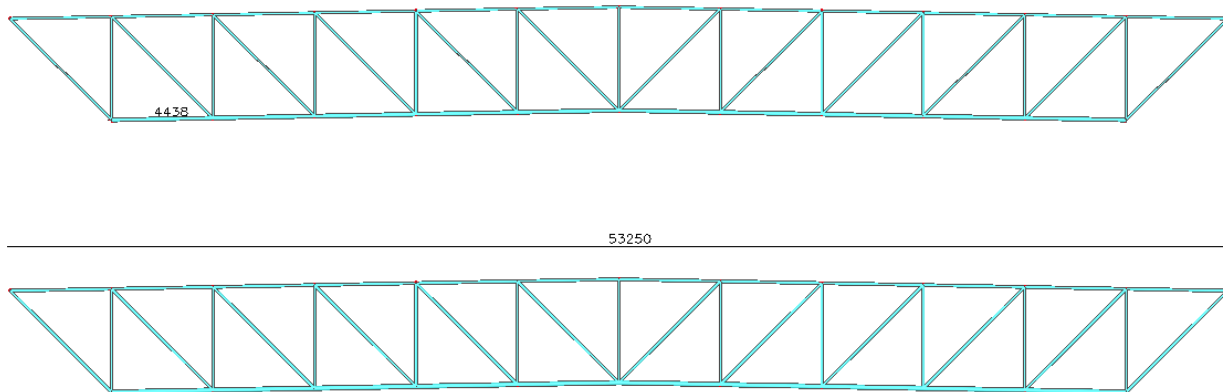
Liší se od sebe jak tvarem (plochý – v krajních částech mezi hlavními nosníky, sedlový – v prostředním poli mezi hlavními a vedlejšími nosníky, pultový – v krajních trojúhelníkových částech); délkou (od 9,8m až do 53,25m); výškou (od 1,5m do 4,5m) tak i zatěžovací šířkou (od 9,8m do 18,4m). Vazníky typu F jsou zrcadlově otočeny kolem os souměrnosti půdorysného tvaru osmiúhelníku a jsou z jedné strany podporovány horním pásem nosníků a ze strany druhé portálovým nosníkem uloženým na sloupech.



Obr.č. 54 Schéma označení nosníků a vazníků



Obr.č. 55 Vazník typu C

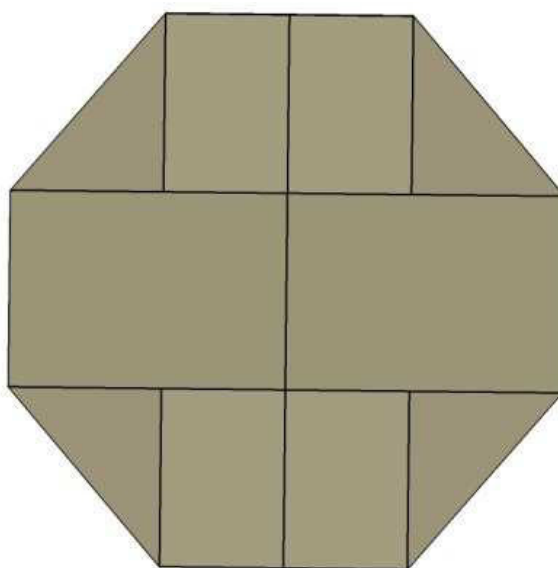


Obr.č. 56 Vazník typu D a E

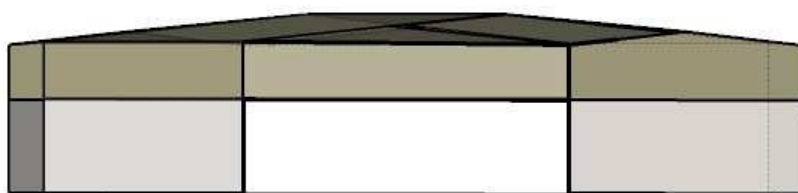
Mezi horními pásy vazníků jsou vaznice. Ty přenášejí zatížení od střešního pláště a zkracují vzpěrnou délku tlačných pásů vazníků. Vaznice mají danou délku dle vzdáleností mezi vazníky. Je jich několik podle toho, mezi kterými vazníky se nacházejí. Jsou řešeny jako rovinné příhradové nosníky prostě uloženy na vaznicích při horních pásech. Vaznice dosahují rozpětí od 9,8 m až do 18,4 m. Vzdálenost mezi vaznicemi je nejvíce 4,44 m. Na tuto vzdálenost jsou navrženy velkorozponové střešní panely, které jsou uchyceny k vaznicím.

5.3. Architektonické řešení hangáru

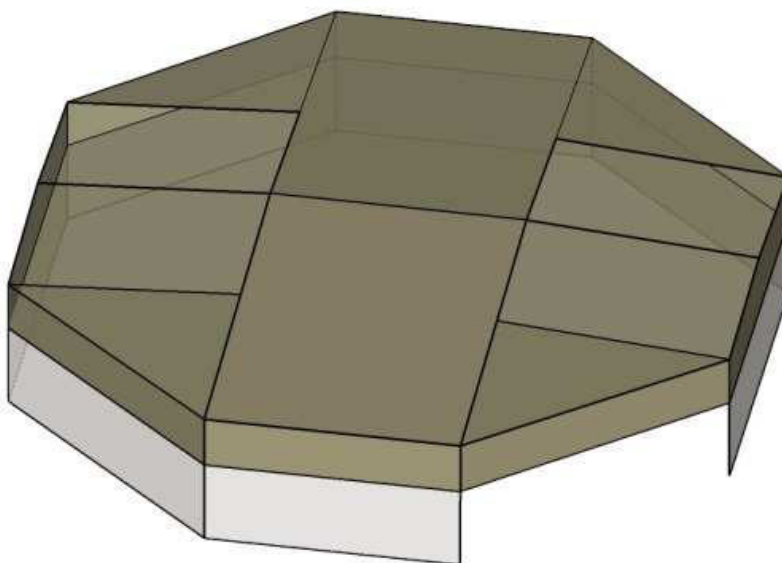
V této kapitole je pro představu uvedena možná varianta architektonického řešení celé konstrukce hangáru. Jak by tato budova vypadla po provedení opláštění.



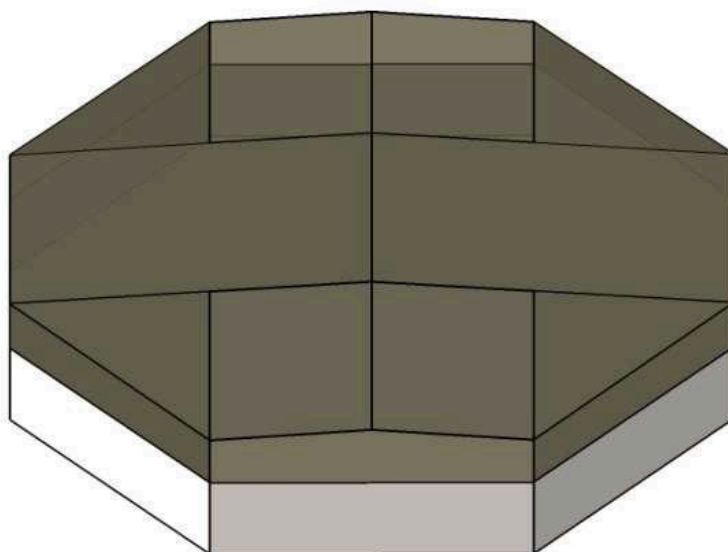
Obr.č. 57 Pohled na střechu shora



Obr.č. 58 Pohled boční na vratový prostor



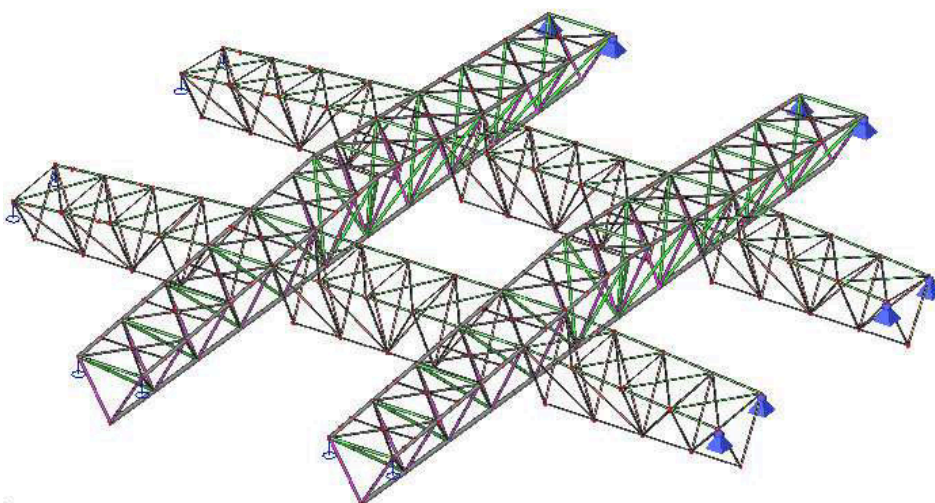
Obr.č. 59 Pohled ze shora



Obr.č. 60 Boční pohled 2

5.4. Výpočetní modely

V diplomové práci je podrobně navržena a posouzena hlavní nosná konstrukce zastřešení, což jsou prostě uložené dva hlavní a vedlejší trojboké příhradové nosníky. V závislosti na časově náročném procesu návrhu všech nosných částí zastřešení (vazníky, vaznice) nejsou navrženy a posouzeny podrobně. Kompletní 3D model je vyřešen až při podrobném návrhu celé konstrukce hangáru. Má práce je zaměřena na předběžný návrh konstrukce jako podklad pro výběrové řízení. Celkový návrh realizace hangáru potom řeší tým projektantů.



Obr.č. 61 3D výpočetní model nosníků

5.5. Zjednodušený návrh a posouzení vaznic a vazníků

5.5.1. *Střešní plášť*

Návrh a posouzení střešního pláště

Na střešní plášť budou použity velkorozponové panely KINGSPAN XS1000 XD, které jsou uloženy na vaznice maximálního rozponu 4,5 m.

Únosnost dle výrobce [9]:

Tlak pro gravitační zatížení:	MSÚ $q_{Rd} = 3,56 \text{ kN/m}^2$
	MSP $q_{Rk} = 1,76 \text{ kN/m}^2$
Sání (pro zatížení větrem):	MSÚ $q_{Rd} = 2,42 \text{ kN/m}^2$
	MSP $q_{Rx} = 1,73 \text{ kN/m}^2$

Výpočet zatížení:

Kombinace s vlastní tíhou a sněhem - K1

	Zatížení sněhem	Vlastní tíha
Charakteristické hodnoty	$s_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$	$q_k = 0,22 \text{ kN/m}^2$
Součinitel spolehlivosti zatížení	$\gamma_Q = 1,5$	$\gamma_G = 1,35$
Charakteristická hodnota	$q_k = s_k + q_k = 0,670 \text{ kN/m}^2$	
Návrhová hodnota	$q_d = s_k \cdot 1,5 + q_k \cdot 1,35 = 0,938 \text{ kN/m}^2$	

Kombinace s vlastní tíhou a sáním větru - K2

	Zatížení větrem	Vlastní tíha
Charakteristické hodnoty	$w_k = -1,67 \text{ kN/m}^2$	$q_k = 0,22 \text{ kN/m}^2$
Součinitel spolehlivosti zatížení	$\gamma_Q = 1,5$	$\gamma_G = 1,0$
Návrhová hodnota	$q_d = w_k \cdot 1,5 + q_k \cdot 1,0 = -2,285 \text{ kN/m}^2$	

Posouzení:

Kombinace K1

$$\text{MSP: } q_{Ek} = 0,67 \text{ kN/m}^2 \leq q_{Rk} = 1,76 \text{ kN/m}^2$$

Vyhovuje

MSÚ: $q_{Ed} = 0,938 \text{ kN/m}^2 \leq q_{Rk} = 3,56 \text{ kN/m}^2$ **Vyhovuje**

Kombinace K2

MSÚ: $q_{Ed} = 2,285 \text{ kN/m}^2 \leq q_{Rk} = 2,42 \text{ kN/m}^2$ **Vyhovuje**

5.5.2. Vaznice

Pro horní odhad vlastní tíhy vaznic je použit přibližný vzorec:

$$g_k = \frac{L}{76} \cdot \sqrt{q \cdot d} \text{ [kN/m]} \quad \text{kde:}$$

L (m) je rozpětí vaznice

q (kN/m²) je plošné zatížení (tíha střešního pláště + sních)

d (m) je vzdálenost mezi vaznicemi

V tabulce je pro každý typ vazníků stanoven odhad vlastní tíhy jednotlivých vaznic a hodnoty reakcí působících v místě připojení na vazníky. Tyto reakce působí bodově ve styčnicích vazníků v zatěžovacím stavu stálém.

TAB.č.6 Vlastní tíha vaznic, velikost reakcí

Vaznice		TYP C	TYP D	TYP E	TYP F1	TYP F2
Délka	[m]	18,40	13,25	13,85	13,03	9,80
Zatěžovací šířka	[m]	4,42	4,44	4,44	3,26	2,40
Zatížení - střešní plášť	[kN/m ²]	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Zatížení - sních	[kN/m ²]	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Vlastní tíha g_k	[kN/m]	0,42	0,30	0,31	0,25	0,16
Reakce R_z	[kN]	3,83	1,99	2,18	1,65	0,80

5.5.3. Vazníky

Jednotlivé pruty vazníků byly navrženy z kruhových dutých průřezů. V programu Scia byly vypočteny reakce jednotlivých vazníků od vlastní tíhy. Výsledky výpočtů reakcí od zatěžovacích stavů: sněhu, sání a tlaku větru jsou shrnuty v příloze č.4. Těmito reakcemi budou zatěžovány v uzlech hlavní a vedlejší nosníky v místech napojení vazníků s nosníky.

Návrh a posudek

Všechny typy vazníků (C, D, E, F) jsou zjednodušeně navrženy a posouzeny na nejnepříznivější kombinaci zatížení. Jednotlivé návrhy průřezů a jejich posouzení včetně

procentuálního využití jsou uvedeny v tabulce. Průřezy byly navrhovány pro horní a dolní pásy, svislice a diagonály.

Návrhová únosnost prutu na tlak a tah

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m2}}$$

kde

χ je součinitel vzpěrnosti. Jeho hodnota zohledňuje snížení únosnosti tlačných prvků tak, aby byly zohledněny nepříznivé vlivy od působení tlakových sil, které nejsou ve výpočtu detailně zpracovány.

Posouzení

- Vzpěrného tlaku

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Tahu

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

TAB.Č.7 Posouzení vazníku

Vazník TYP C				
	DP	HP	S	D
N+ [kN]	1 145,50	520,10	457,30	510,80
N- [kN]	1 425,90	645,96	361,80	633,50
A _{min} [mm ²]	5 355,49	2 426,14	1 358,87	2 379,34
Profil	TR 194x11	TR 168x5,6	TR 108x5,6	TR 168x5,6
χ_y [kN]	0,75	0,75	0,75	0,75
χ_z [kN]	0,75	0,75	0,75	0,75
N _{b,Rd} [kN]	1 683,77	760,70	479,65	760,70
N _{t,Rd} [kN]	2 245,03	1 014,27	639,54	1 014,27
A [mm ²]	6 324,03	2 857,09	1 801,51	2 857,09
Využití v tahu	51%	51%	72%	50%
Využití v tlaku	85%	85%	75%	83%

Poznámka: HP-horní pásy, DP- dolní pásy, S-svislice, D-diagonály

χ – součinitel vzpěrnosti, A_{min} – minimální plocha průřezu, A –skutečná plocha průřezu

Posouzení všech typů vazníků jsou uvedeny v tabulce v příloze č. 2

5.5.4. Výpočet reakcí vazníků od zatěžovacích stavů

Níže je tabulka vypočtených hodnot pro vazník typu C. Tabulky pro ostatní nosníky jsou uvedeny v příloze č.4

TAB.č.8 Výpočet reakcí vazníku – typ C od zatěžovacích stavů

Vazník TYP C						
Délka		53,00 m				
Zatěžovací šířka		18,40 m				
Zatěžovací šířka vaznice		4,42 m				
Zatížení		pro nosník:		liniové [kN/m]	bodové [kN]	reakce [kN]
zatížení nahodilá	sníh	C2 až C5		8,24	36,43	218,4
		C1 a C6		4,12	18,22	109,2
	vítr podélný	C2-5	oblast I	-6,85	-30,28	-181,5
		C1 a C6	oblast I	-3,43	-15,14	-90,8
	vítr příčný	C1	oblast GH	-9,73	-43,02	-257,9
		C2	oblast HI	-13,86	-61,25	-367,2
		C3-5	oblast I	-6,85	-30,28	-181,5
		C6	oblast I	-3,43	-15,14	-90,8
zatížení stálá	reakce od vaznice C	C3 až C5	oblast I+	8,65	2,08	229,2
		C6	oblast I+	4,33	2,08	114,6
zatížení stálá	reakce od vaznice C				3,83	
	vlastní tíha					28,3

5.6. Zatěžovací stavy

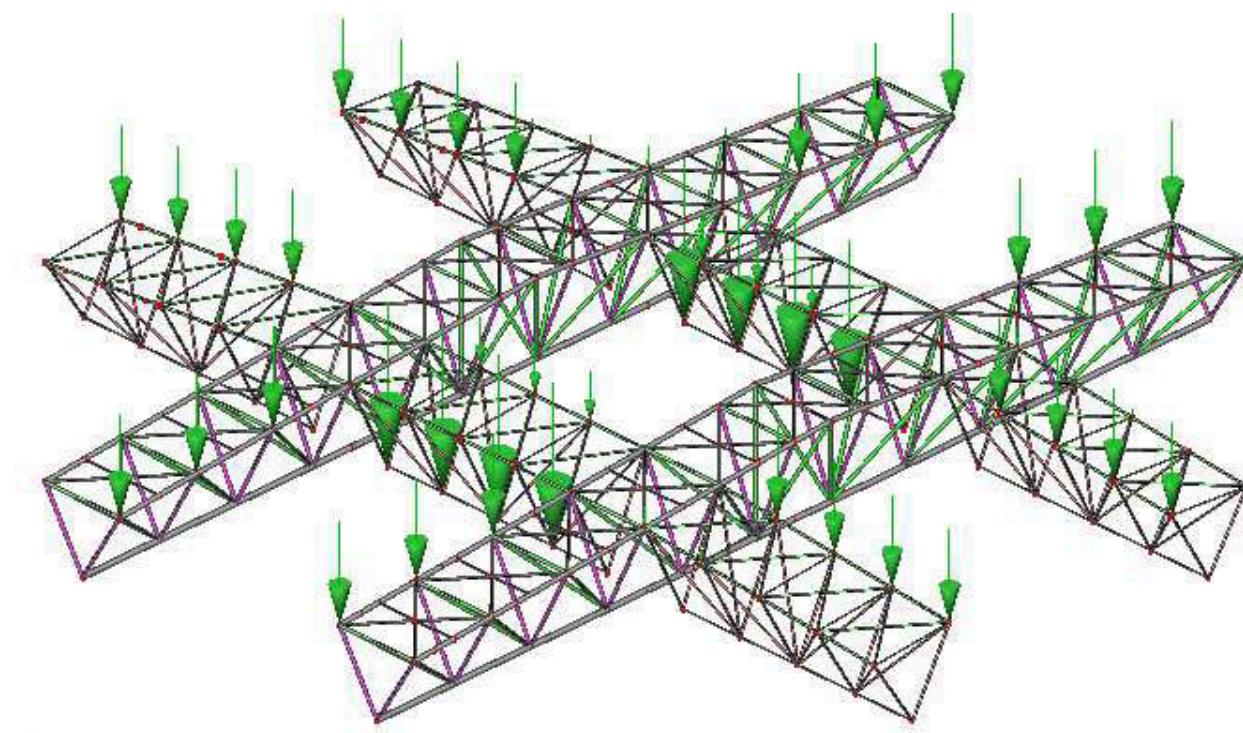
Kromě zatěžovacího stavu vlastní tíhou jsou bodová zatížení v jednotlivých stavech přepočtena do styčníků hlavních a vedlejších nosníků. V jednotlivých stavech je v příslušném styčniku hodnota bodového zatížení vypočtena jako součet reakcí od vazníku a příslušné plochy přenášené nosníkem. Hodnoty bodových zatížení v jednotlivých styčnících a zatěžovacích stavech jsou uvedeny v příloze č. 1.

5.6.1. Zatěžovací stav 1 – vlastní tíha

Vlastní tíha je vygenerována programem Scia engineering 2012.

5.6.2. **Zatěžovací stav 2 – stálé**

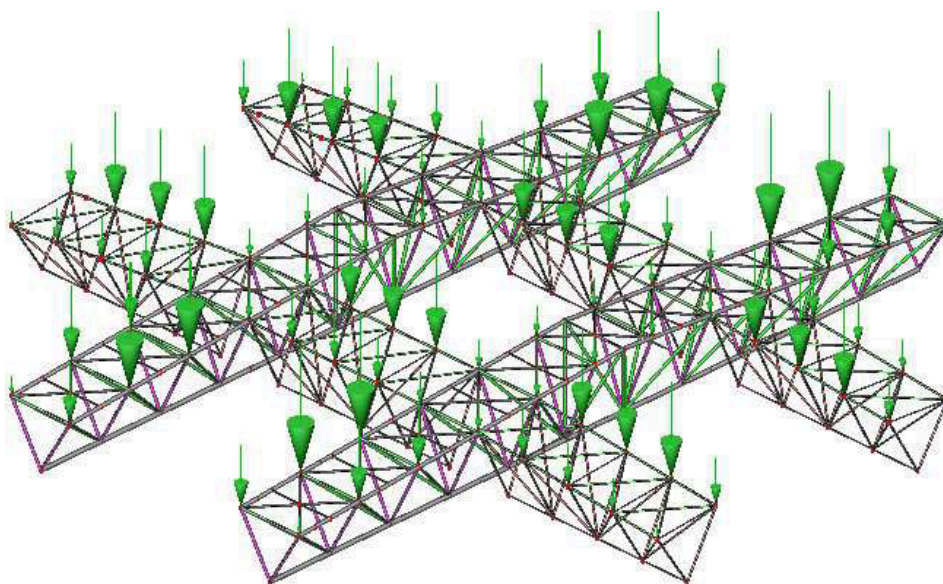
V tomto stavu jsou zahrnuty účinky reakcí od vazníků a působení zatížení od vzduchotechniky. Předpokládá se, že bude zavěšena v místech styčníků dolních pásů vedlejších nosníků. Velikost plošného zatížení je uvažována $0,1 \text{ kN/m}^2$, která je přepočtena na bodové zatížení do styčníků.



Obr.č. 62 ZS2 – stálé

5.6.3. **Zatěžovací stav 3 – sněh**

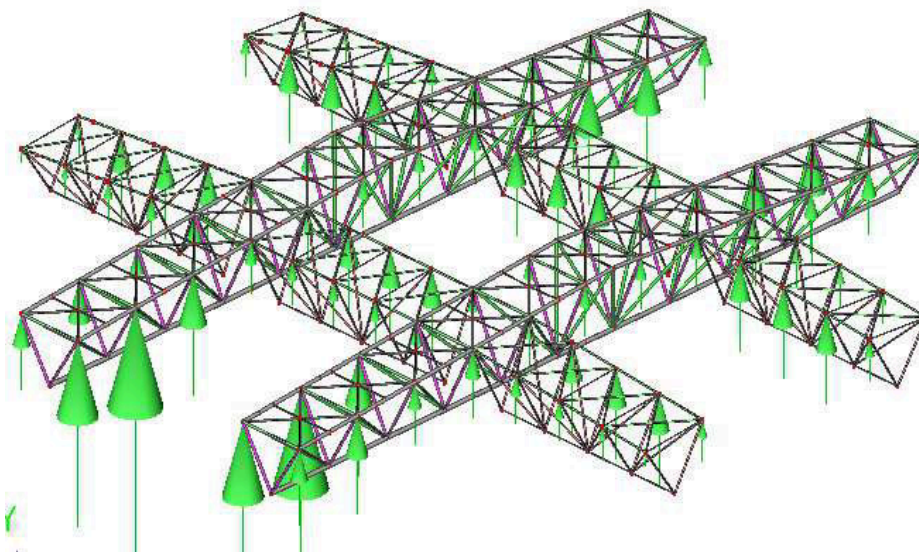
Výpočet hodnoty zatížení je uveden v kapitole 4.2.1. Plošné zatížení sněhem je přepočteno na bodové působících ve styčnicích. A jeho celková hodnota je součtem reakcí od vazníků a zatížení, které přenášejí samotné hlavní a vedlejší nosníky.



Obr.č. 63 ZS3 – sníh

5.6.4. **Zatěžovací stav 4 – sání větru (příčný)**

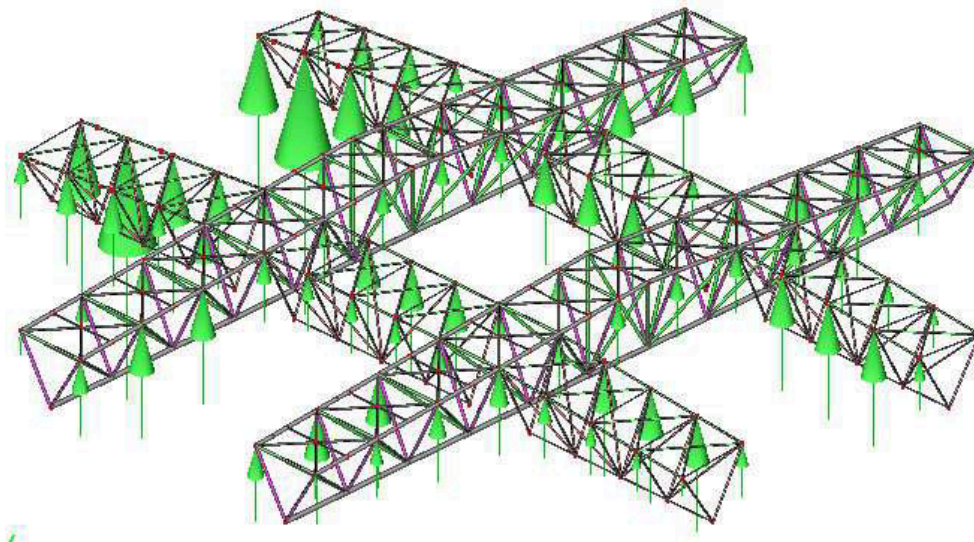
Výpočet hodnot zatížení pro jednotlivé větrové oblasti je proveden v kapitole 4.2.1. Tento stav počítá s větrem působícím na hlavní nosníky. Vrata hangáru budou v tomto případě otevřená a vítr způsobuje sání. Zatížení působí bodově ve styčnících. A jeho celková hodnota je součtem reakcí od vazníků a zatížení, které přenášejí samotné hlavní a vedlejší nosníky.



Obr.č. 64 ZS4 – příčný vítr (sání)

5.6.5. **Zatěžovací stav 5 – sání větru (podélný)**

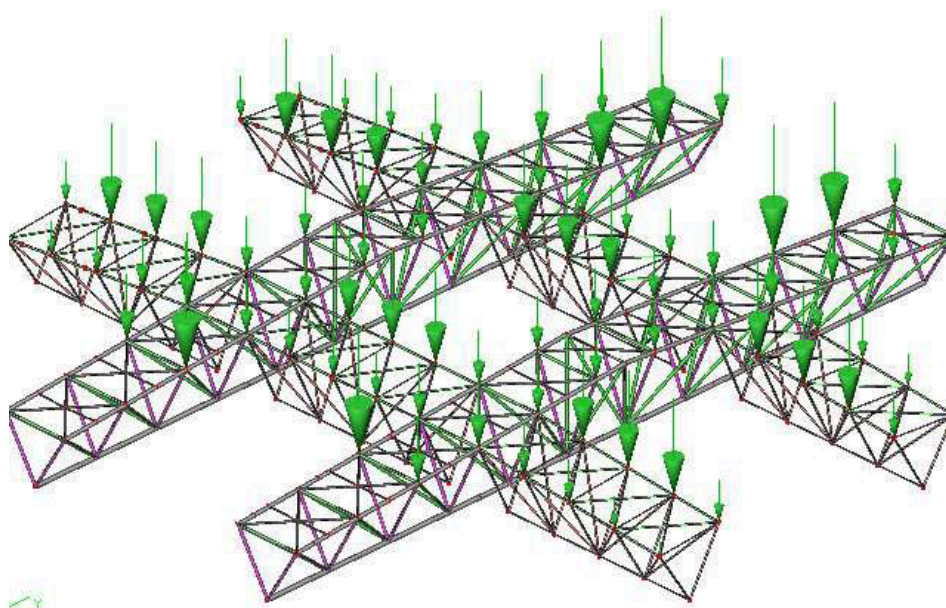
V tomto stavu je počítáno s větrem působícím na vedlejší nosníky.



Obr.č. 65 ZS5 – podélný vítr (sání)

5.6.6. **Zatěžovací stav 6 – tlak větru**

Tlak větru je způsoben při situaci, kdy vrata hangáru jsou zavřená a vzniká tlak. Uvažuje se působení ve směru hlavních nosníků.



Obr.č. 66 ZS6 – tlak větru

5.7. Kombinace zatěžovacích stavů

Kombinační součinitelé ψ jsou dle [1] stanoveny pro:

- zatížení sněhem, pro stavby v nadmořské výšce $H \leq 1000 \text{ m. n. m.}$ ($\psi_0 = 0,5$)
- zatížení větrem ($\psi_0 = 0,6$)

5.7.1. **Kombinace zatížení - MSÚ**

Kombinace pro mezní stav únosnosti jsou provedeny dle kombinační rovnice [1]

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{nG,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} G_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kombinace

$$\text{CO1} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2}$$

$$\text{CO2} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,50 \text{ ZS3} + 0,90 \text{ ZS4}$$

$$\text{CO3} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,50 \text{ ZS3} + 0,90 \text{ ZS5}$$

$$\text{CO4} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 0,75 \text{ ZS3} + 1,50 \text{ ZS5}$$

$$\text{CO6} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,00 \text{ ZS2} + 1,50 \text{ ZS5}$$

$$\text{CO7} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,00 \text{ ZS2} + 1,50 \text{ ZS4}$$

$$\text{CO8} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,50 \text{ ZS5}$$

$$\text{CO9} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,50 \text{ ZS5}$$

$$\text{CO10} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,50 \text{ ZS3}$$

$$\text{CO11} = 1,35 \text{ ZS1} + 1,50 \text{ ZS3} + 0,90 \text{ ZS5}$$

5.7.2. **Kombinace zatížení - MSP**

Kombinace pro mezní stav použitelnosti jsou provedeny dle kombinační rovnice [1]

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + G_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\text{CO12} = 1,00 \text{ ZS1} + 1,00 \text{ ZS2} + 1,00 \text{ ZS3}$$

$$\text{CO13} = 1,00 \text{ ZS1} + 1,00 \text{ ZS3} + 0,60 \text{ ZS5}$$

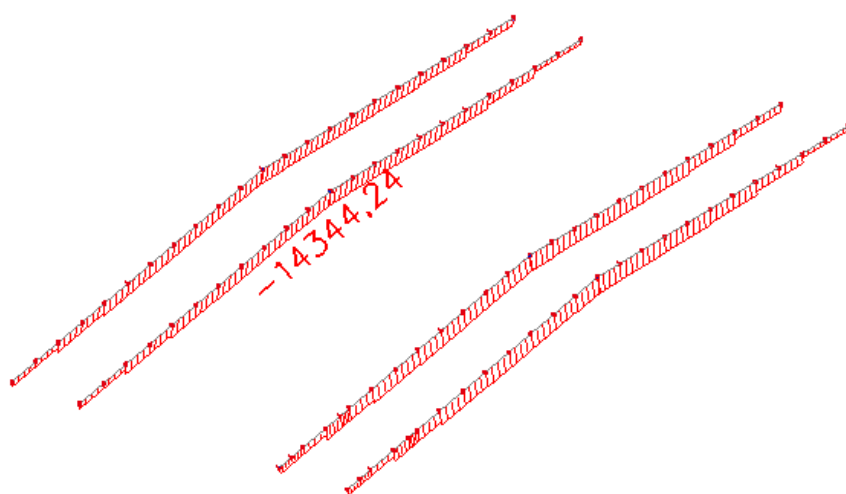
5.8. Návrh a posouzení prvků nosníků dle mezního stavu únosnosti

Jednotlivé prvky hlavních a vedlejších příhradových nosníků jsou navrženy na účinky lineárního výpočtu. Vnitřní síly byly určeny pomocí analýzy prvního řádu s použitím počáteční geometrie konstrukce. Účinky nelinearity je zahrnuta do výpočtu jako dostatečná rezerva využití průřezů. Kromě lineárního výpočtu byl proveden nelineární výpočet pro kombinaci vlastní tíhy konstrukce a stálého zatížení pro porovnání změn nárůstu vnitřních sil.

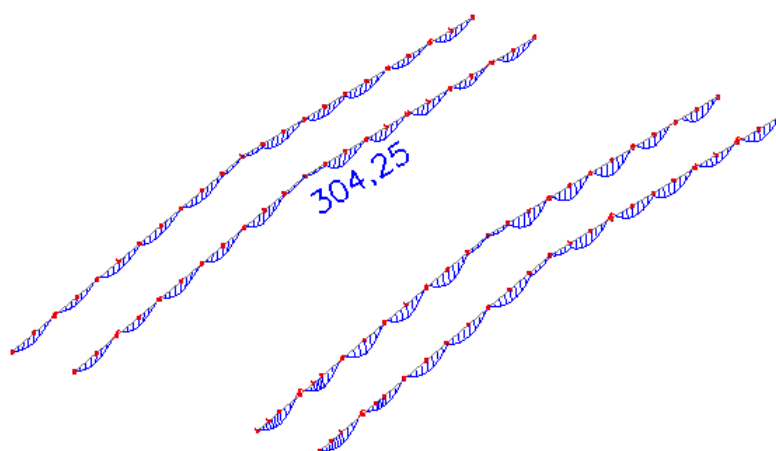
5.8.1. *Horní pás hlavního nosníku*

Nejnepříznivější kombinace pro lineární výpočet: CO11 (viz. 5.7.1.)

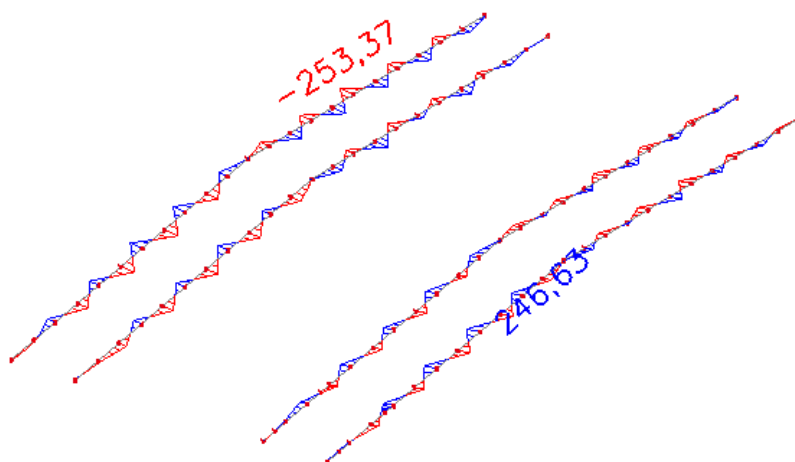
Průběhy vnitřních sil na horním pásu



Obr.Č. 67 Maximální normálová síla $N_{Ed} = -14\,344,24\text{ kN}$



Obr.Č. 68 Maximální ohybový moment $M_{y,Ed} = 304,25\text{ kNm}$



Obr.č. 69 Maximální ohybový moment $M_{z,Ed} = -253,37 \text{ kNm}$

Výstupy maximálních vnitřních sil v příslušné kombinaci:

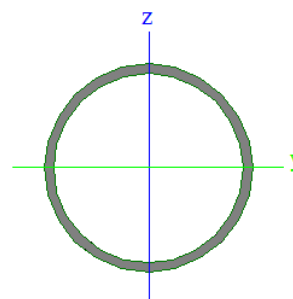
TAB.č. 9 Výstupy vnitřních sil na horním pásu

	max N	max V	max Mz	max My
Kombinace	CO11	CO7	CO11	CO11
N- [kN]	-14 344,24	-1929,14	-12 930,37	-13 664,18
$V_{y,z}$ [kN]	-15,66	68,72	49,13	45,22
M_z [kNm]	-168,54	3,94	-253,37	-147,73
M_y [kNm]	36,29	-209,37	52,00	304,25

Profil: TR 813x22

Materiál: S 335

Průřezové charakteristiky profilu	
b [m]	0,81
t [m]	0,02
$I_{y,z}$ [m ²]	4,315E-03
i [m]	0,28
$W_{y,z,pl}$ [m ³]	1,369E-02
A [m ²]	5,520E-02



Obr.č. 70 Tvar profilu
CHS

Zatřídění průřezu (tab. 5.2 v [1]):

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{813}{22} = 36,95 \leq 50 \cdot \varepsilon = 33,13 \rightarrow \text{Třída průřezu 1}$$

Kritický posudek

Horní pás je z hlediska velikosti vnitřních síl posuzován na rovinný vzpěr a na interakce ohybu a osového tlaku (kap. 6.3.3 v [1]). Pro malé hodnoty smykových sil a kroutících ohybových momentů v poměru s ostatními není pás posuzován na smyk a kroucení.

Posudek na rovinný vzpěr

V místě působení maximální tlakové síly uprostřed horního pásu

Vzpěrná délka

Vzpěrná délka horního pásu kolmo k ose y-y je uvažována mezi svislicemi.

$$L_{cr,y} = 18,46 \text{ m}$$

Vzpěrná délka kolmo k ose z-z je uvažována jako vzdálenost mezi vazníky.

$$L_{cr,z} = 18,46 \text{ m}$$

Vzpěrné délky z roviny a v rovině jsou shodné. V dalším postupu výpočtu je vypočten součinitel vzpěrnosti pro $L_{cr,y}$.

Kritická štíhlost

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{18,46}{0,280} = 66,01$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1 \cdot \varepsilon} = \frac{66,01}{93,9 \cdot 0,814} = 0,836$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,21 (0,836 - 0,2) + 0,836^2 \right] = 0,920$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,920 + \sqrt{0,920^2 - 0,836^2}} = 0,950$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,950 \cdot 5,52 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 18545,17 kN$$

Posouzení

- V tlaku

$$N_{b,Rd} = 18545,17 kN \geq N_{Ed} = 14344,24 kN \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využití průřezu v tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{14344,24}{18545,17} \cdot 100\% = 77\%$$

Posudek na interakci ohybu a osového tlaku v místě maximální normálové síly $N_{max,Ed}$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{14344,24}{\frac{18545,17}{1,0}} + 1,45 \frac{36,29}{\frac{4858,18}{1,0}} + 0,54 \frac{168,54}{\frac{4858,18}{1,0}} \leq 1,0$$

$$\frac{14204,42}{\frac{18545,17}{1,0}} + 0,87 \frac{34,60}{\frac{4858,18}{1,0}} + 0,89 \frac{167,01}{\frac{4858,18}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,80 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$0,81 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu

$$N_{b,Rd} = 18545,17 kN$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 10^6 \cdot 1,369 \cdot 10^{-2} = 4858,18 kNm$$

Součinitele interakce (tab. B.1 v [1])

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rk}/\gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,97 \cdot \left(1 + (0,836 - 0,2) \cdot \frac{14344,24}{18545,17/1,0} \right) \leq 0,97 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{14344,24}{18545,17/1,0} \right)$$

$$k_{yy} = 1,45$$

$$k_{yz} = 0,8 \cdot k_{zz} = 0,8 \cdot 0,89 = 0,54$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,45 = 0,87$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rk}/\gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,60 \cdot \left(1 + (0,836 - 0,2) \cdot \frac{14344,24}{18545,17/1,0} \right) \leq 0,60 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{14344,24}{18545,17/1,0} \right)$$

$$k_{zz} = 0,90$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu (tab. B.3 v [1]):

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,41 = 0,97$$

$$\text{kde } \alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{30,39}{74,35} = 0,41$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$\text{kde } \psi = 0$$

Posudek na interakci ohybu a osového tlaku v místě maximálního ohybového momentu

$M_{y,max,Ed}$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{13664,18}{18545,17}}{1,0} + 0,83 \frac{\frac{304,25}{4858,18}}{1,0} + 0,64 \frac{\frac{147,73}{4858,18}}{1,0} \leq 1,0$$

$$\frac{13664,18}{18545,17} + 0,50 \frac{304,25}{4858,18} + 1,07 \frac{147,73}{4858,18} \leq 1,0$$

$$0,81 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$0,80 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu

$$N_{b,Rd} = 18545,17 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 10^6 \cdot 1,369 \cdot 10^{-2} = 4858,18 \text{ kNm}$$

Součinitele interakce (tab. B.1 v [1])

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rk}/\gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left(1 + (0,836 - 0,2) \cdot \frac{13664,18}{18545,17/1,0} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{13664,18}{18545,17/1,0} \right)$$

$$k_{yy} = 0,83$$

$$k_{yz} = 0,8 \cdot k_{zz} = 0,8 \cdot 1,07 = 0,64$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,77 = 0,50$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rk}/\gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,73 \cdot \left(1 + (0,836 - 0,2) \cdot \frac{13664,18}{18545,17/1,0} \right) \leq 0,73 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{13664,18}{18545,17/1,0} \right)$$

$$k_{zz} = 1,07$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu (tab. B.3 v [1]):

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,07 = 0,95$$

$$\text{kde} \quad \alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{19,85}{304,23} = 0,07$$

$$C_{mz} = -0,8 \cdot \alpha_h = -0,8 \cdot (-0,91) = 0,73$$

$$\text{kde} \quad \alpha_h = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-147,73}{161,73} = -0,91$$

Posudek na ohyb a osovou sílu

Všechny ostatní prvky nosníků, které jsou namáhány ohybem a osovou silou, byly posouzeny na plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly (dle kap. 6.2.9 v [1]).

Podmínka posouzení v místě maximálního ohybového moment $M_{y,max,Ed}$

$$M_{y,Ed} \leq M_{N,Rd}$$

$$M_{z,Ed} \leq M_{N,Rd}$$

$$M_{y,Ed} = 304,25 kNm \leq M_{N,Rd} = 1551,71 kNm \quad \textbf{Vyhoví}$$

$$M_{z,Ed} = 147,73 kNm \leq M_{N,Rd} = 1551,71 kNm \quad \textbf{Vyhoví}$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd}(1 - n)/(1 - 0,5a)$$

$$M_{N,Rd} = \frac{4858,18(1 - 0,74)}{(1 - 0,5 \cdot 0,35)} = 1551,71 kNm$$

$$a = (A - 2dt)/A \quad \text{ale} \quad a \leq 0,5$$

$$a = \frac{(5,52 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 0,81 \cdot 0,022)}{5,52} \cdot 10^{-2} = 0,35$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot W_{pl}}{\gamma_0} = 355 \cdot 10^6 \cdot 1,369 \cdot 10^{-2} / 1,0 = 4858,18 kNm$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{\chi \cdot f_y \cdot A}{\gamma_0} = 0,95 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 1,369 \cdot 10^{-2} / 1,0 = 18545,17 kN$$

$$n = \frac{N_{ED}}{N_{pl,Rd}} = \frac{13664,18}{18545,17} = 0,74$$

Využití průřezu v ohybu

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} \cdot 100\% = \frac{304,25}{1551,71} \cdot 100\% = \mathbf{19,6\%}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}} \cdot 100\% = \frac{146,57}{1551,71} \cdot 100\% = \mathbf{9,5\%}$$

Využití průřezu v tlaku

$$\frac{N_{ED}}{N_{pl,Rd}} \cdot 100\% = \frac{13528,56}{18545,17} = 73,7\%$$

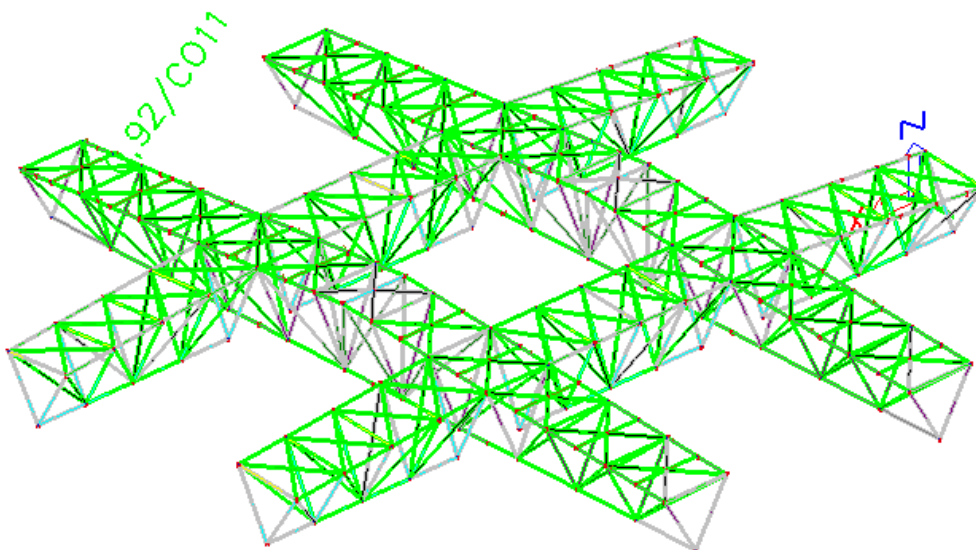
Celkové využití průřezu při kombinaci osově síly a ohybu

$$19,6\% + 9,5\% + 73,7\% \cong 100\%$$

Posudek na ohyb a osovou sílu pomocí redukované plastické momentové únosnosti při uvážení vyčerpání využití průřezu osovou silou a ohybovými momenty bez interakce je v porovnání užití posudku s interakcí o přibližně 20% přísnější. Proto je pro posouzení dalších prvků nosníků použit přísnější posudek bez interakce. Tak je zajištěna dostatečná rezerva únosnosti jednotlivých průřezů.

5.8.2. *Posudky prvků hlavních a vedlejších nosníků*

Svislice, diagonály, příčné prvky v horních pásech a ztužení horních pásů byly posouzeny na nejnepříznivější kombinaci zatížení. Vnitřní síly byly stanoveny lineárním výpočtem v programu Scia engineering. Všechny prvky jsou z oceli S355. Dle způsobu namáhání byly posouzeny na tah a vzpěrný tlak a na kombinaci ohybu a osově síly (výpočet viz. kapitola 5.8.1.). Všechny průřezy jsou zařazeny do třídy průřezu 1. Výpočty jsou uvedeny v přehledné tabulce v příloze č.3. Posudky byly ověřeny v programu Scia Engineering.



Obr.č. 71 Výstup programu Scia Engineering - jednotkové posouzení

5.9. Posouzení nosníků dle mezního stavu použitelnosti

Posouzení na mezní stav použitelnosti je dle doporučených hodnot průhybů dle tab. NA.1 v [1]. Hodnoty deformací byly stanoveny lineárním výpočtem v programu SCIA Engineering.

MSP – hlavní nosník

Horní pás – svislý průhyb

Kombinace CO13 (viz kap 5.7.2.)

$$\delta \leq \delta_{max}$$

$$498mm \leq 799mm \quad \textbf{Vyhoví}$$

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{199700}{250} = 799mm$$

$$\delta = 498mm$$

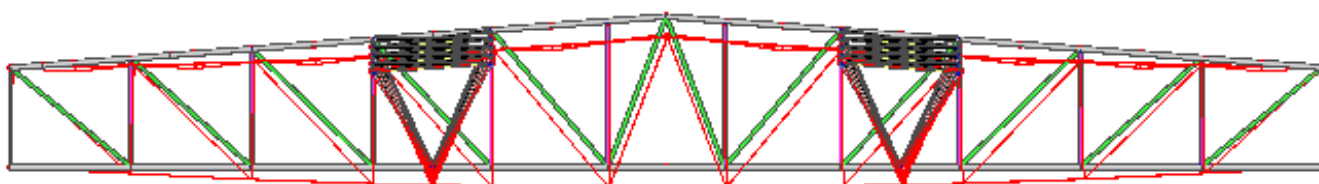
Dolní pás – svislý průhyb

Kombinace CO13 (viz kap 5.7.2.)

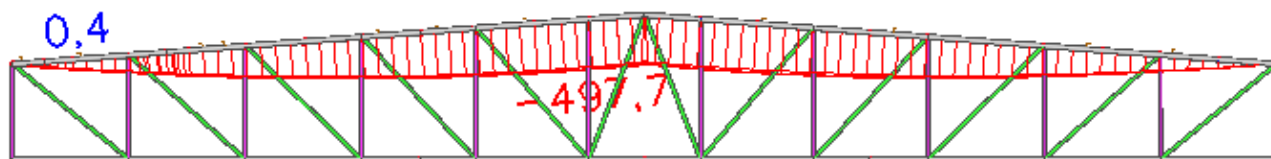
$$\delta \leq \delta_{max}$$

$$497mm \leq 799mm \quad \textbf{Vyhoví}$$

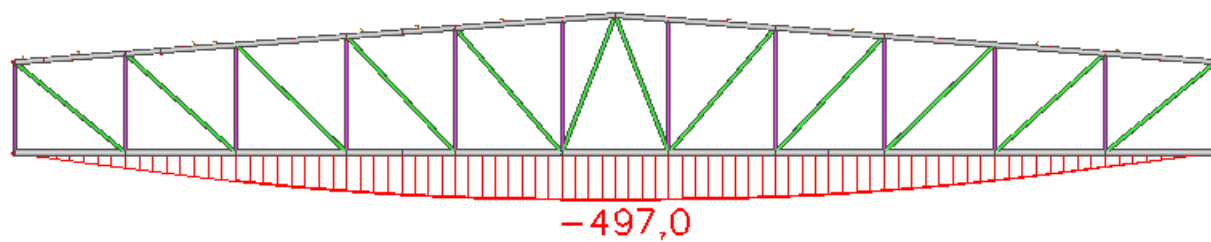
$$\delta = 497mm$$



Obr.č. 72 Deformovaný hlavní nosník – uz



Obr.č. 73 Deformace u_z horního pásu hlavního nosníku



Obr.č. 74 Deformace u_z dolního pásu hlavního nosníku

MSP – vedlejší nosník

Horní pás – svislý průhyb

Kombinace CO13 (viz kap 5.7.2.

$$\delta \leq \delta_{max}$$

$$517mm \leq 799mm \quad \textbf{Vyhoví}$$

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{199700}{250} = 799mm$$

$$\delta = 517mm$$

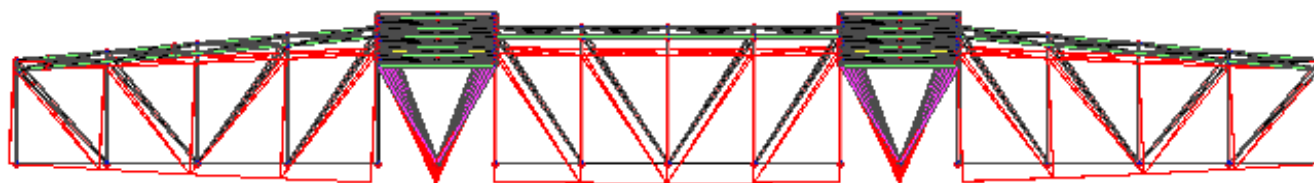
Dolní pás – svislý průhyb

Kombinace CO13 (viz kap 5.7.2.)

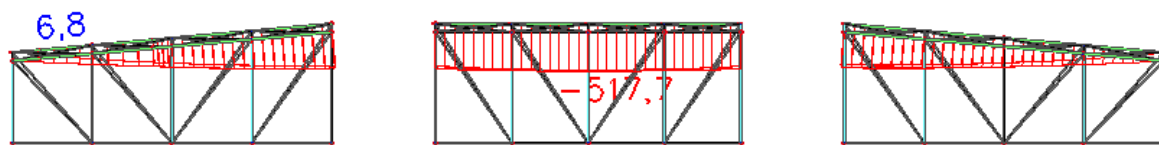
$$\delta \leq \delta_{max}$$

$$478mm \leq 799mm \quad \textbf{Vyhoví}$$

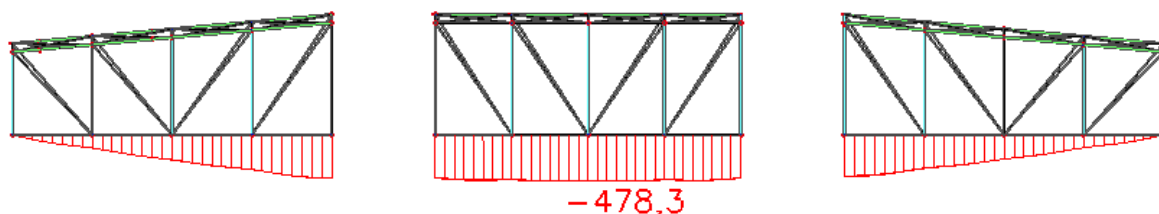
$$\delta = 478mm$$



Obr.č. 75 Deformovaný vedlejší nosník – u_z



Obr.č. 76 Deformace u_z horního pásu vedlejšího nosníku



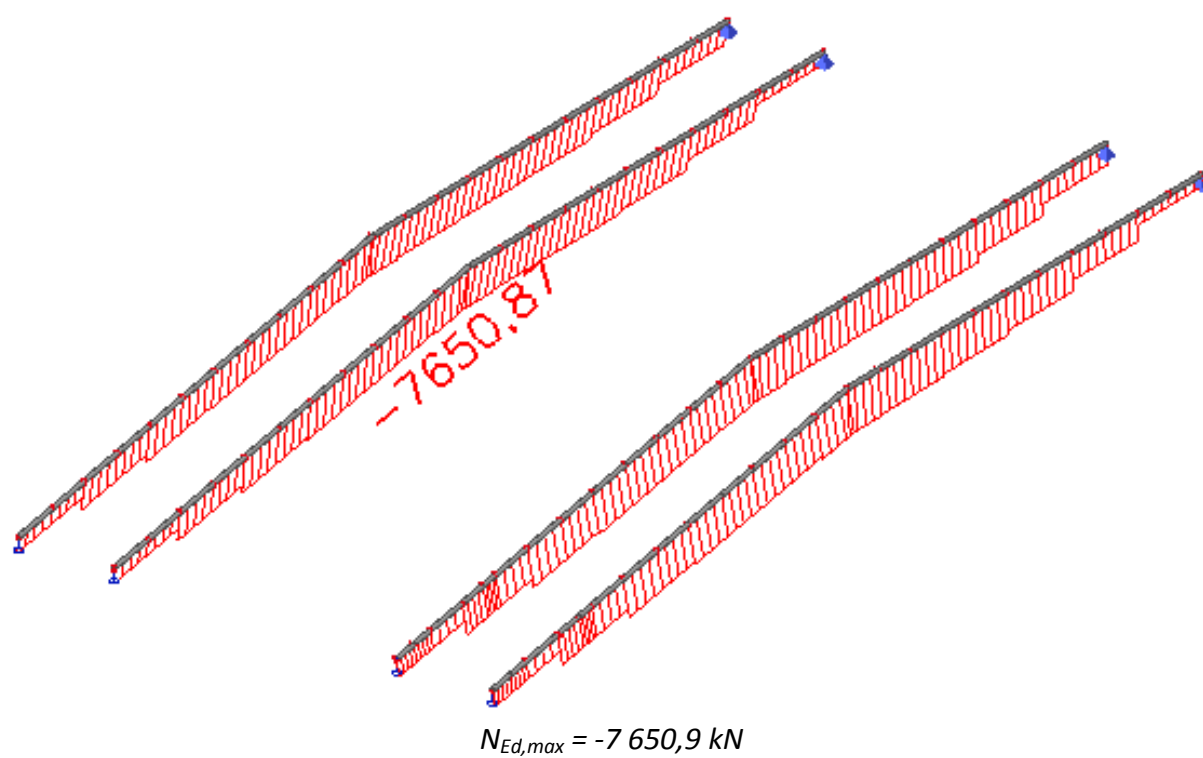
Obr.č. 77 Deformace u_z dolního pásu vedlejšího nosníku

5.10. Nelineární výpočet

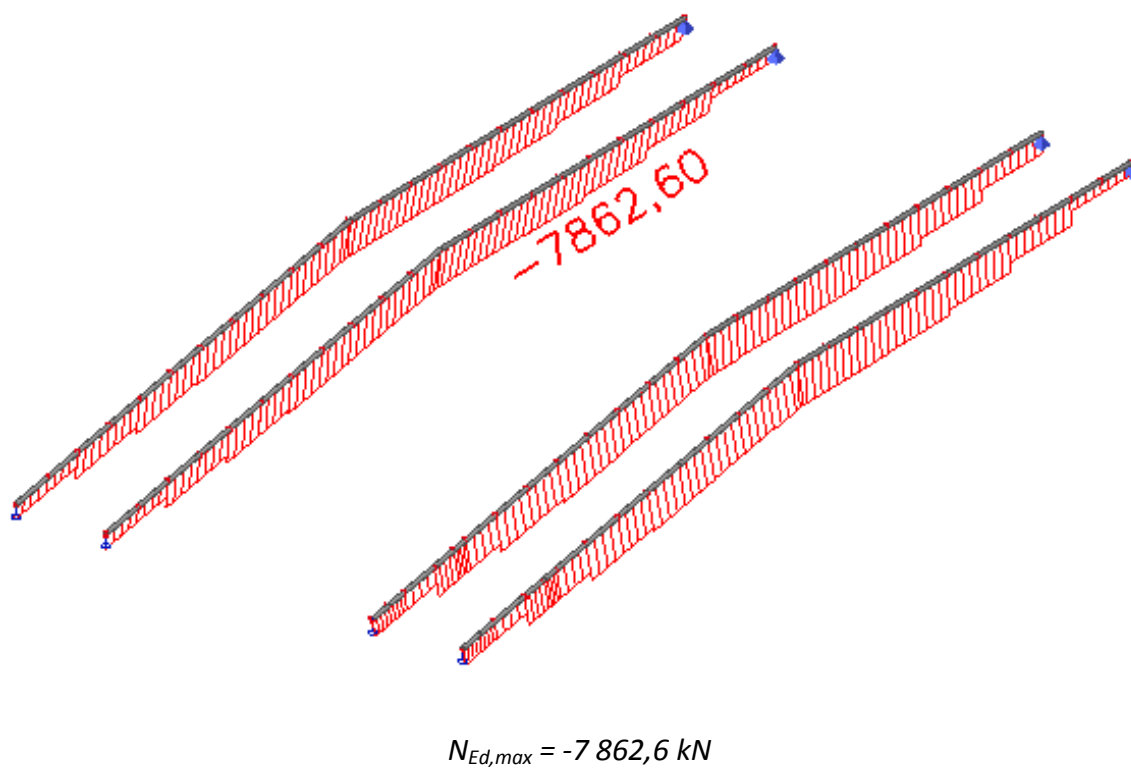
Nelineární výpočet byl proveden pro kombinaci vlastní tíhy a stálého zatížení. Další kombinace s uvažováním všech zatěžovacích stavů nebyly uskutečněny z důvodu odděleného řešení ztužujících a stabilizujících prvků celé nosné konstrukce (vazníky a vaznice). Celý nelineární výpočet pro nejnepříznivější kombinaci zatížení by se následně provedl pro kompletní 3D výpočetní model včetně vazníků a vaznic.

Při návrhu a posouzení prvků nosníků byl zohledněn nárůst vnitřních sil vlivem nelinearit pomocí dostatečně velké rezervy využití jednotlivých průřezů. Výsledky výpočtu lineárního a nelineárního výpočtu byly porovnány na horních páslech hlavních nosníků.

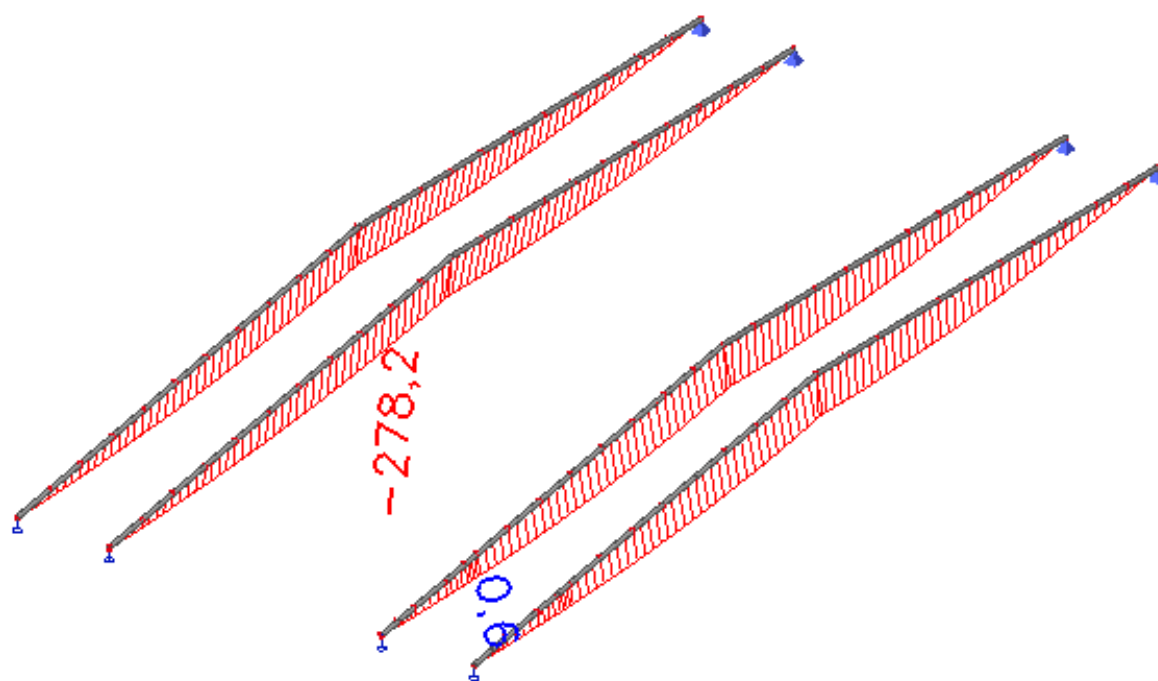
Nárůst normálových sil v horních páslech hlavních nosníků po nelineárním výpočtu se zvýšil o 2,7 %. Průhyb se navýšil o 1,5%. Tento nárůst se zohledňuje při návrhu všech prvků nosné konstrukce při užití lineárního výpočtu.



Obr.č. 78 Lineární výpočet - průběh normálových sil na horních pásech

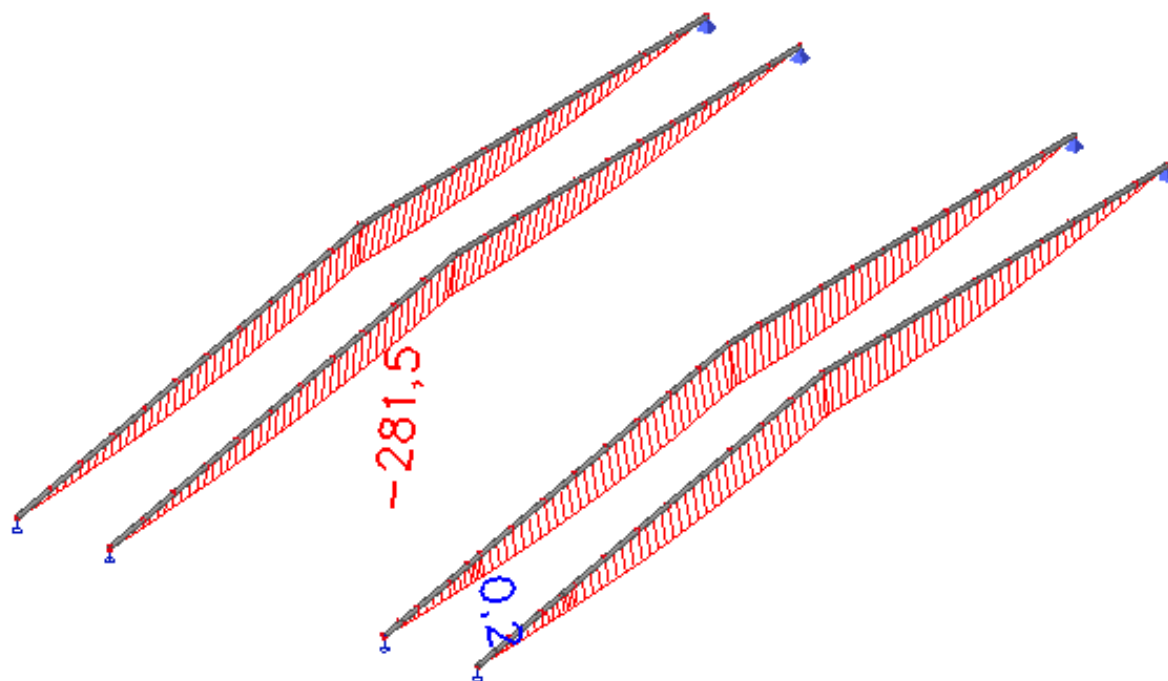


Obr.č. 79 Nelineární výpočet - průběh normálových sil na horních pásech



$$u_z = 278 \text{ mm}$$

Obr.č. 80 Lineární výpočet – deformace



$$u_z = 281 \text{ mm}$$

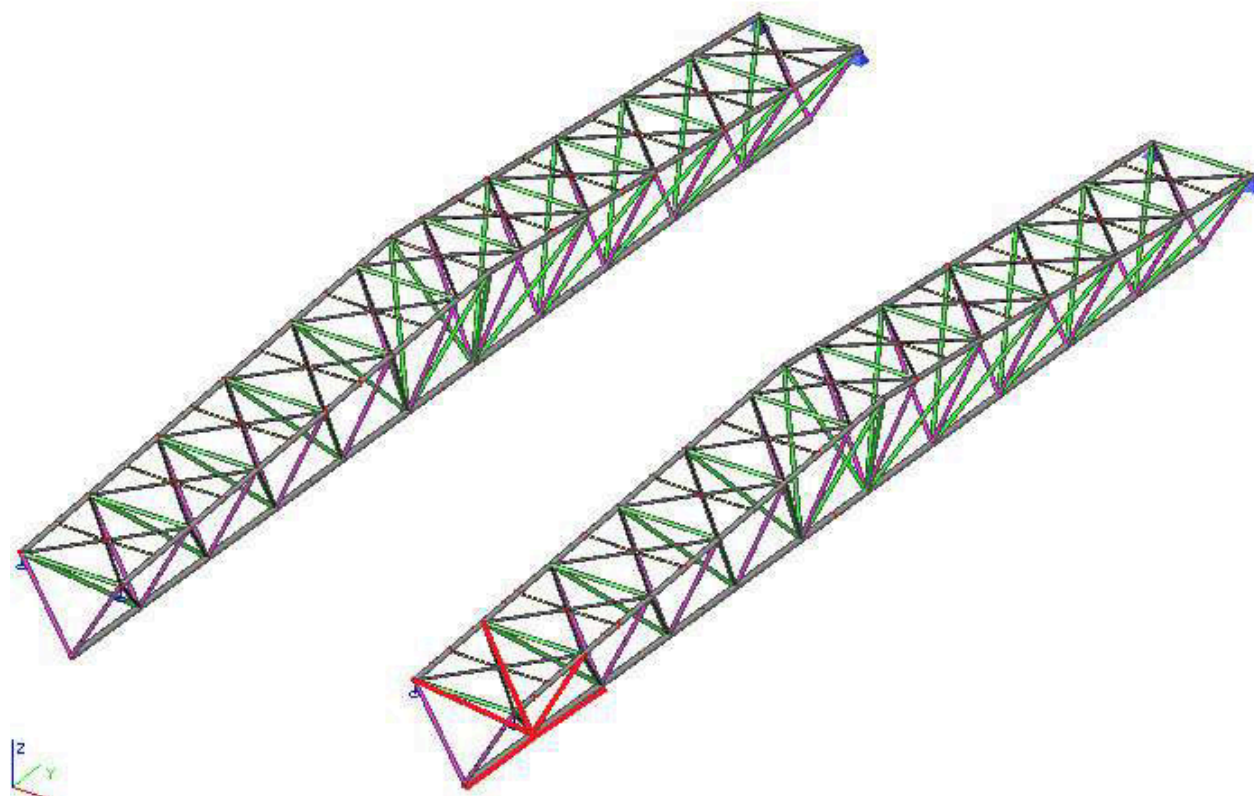
Obr.č. 81 Nelineární výpočet - deformace

6. POSUDEK PROSTOROVÉHO STYČNÍKU

Styčník je posouzen dle ČSN EN 1993-1-8 a příručky Design guide CHS joints under predominantly static loading.

6.1. Posouzení prostorového styčnicku dle ČSN EN 1993-1-8

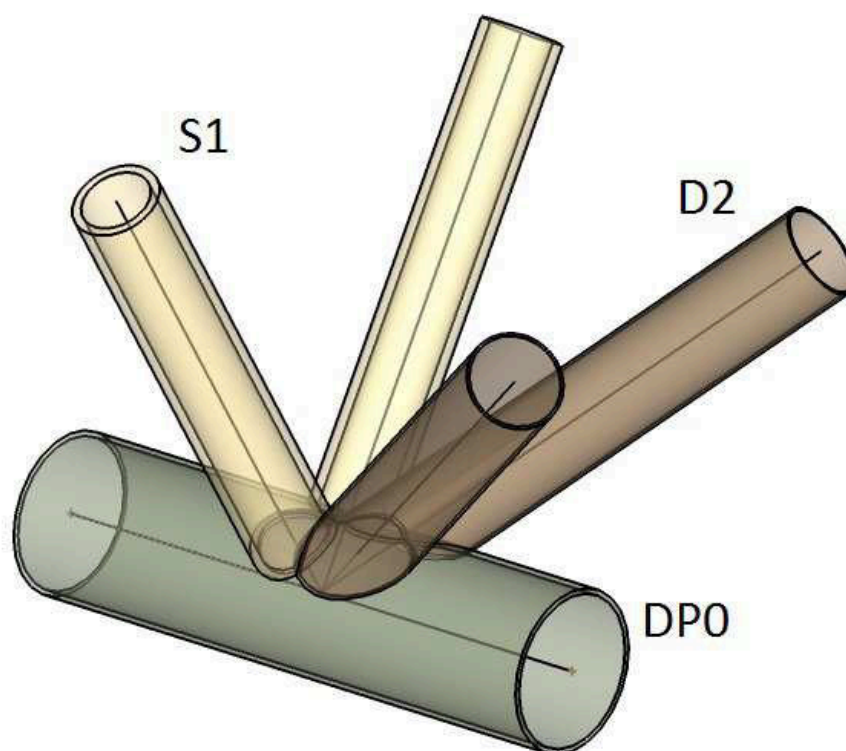
Pro posouzení byl vybrán nejvíce namáhaný styčník (viz *Obr.č.82*). Dle konstrukčního řešení a působících vnitřních sil (tah x tlak) v mezipásových prutech je prostorový styčník posuzován jako typ KK dle tab. 7.7 v [2]. Byla zvolena jedna důležitá rovina, kde byly určeny návrhové únosnosti jako u rovinného styčnicku (typ K) a následně tyto únosnosti redukovány tab. 7.7 v [2]. Tuto rovinu tvoří diagonála D2, svislice S1 a dolní pás DP0. Prvky v této rovině jsou nejvíce namáhány. Druhá hlavní rovina je odkloněna z roviny a je identická s první rovinou, s tím rozdílem, že prvky jsou v této rovině namáhány méně. Proto je rozhodující posouzení v první rovině.



Obr.č. 82 Posuzovaný spoj vyznačených diagonál, svislic a pásu

Pro nejnepříznivější kombinaci CO11 = 1,35.LC1 (stálé)+1,5.LC8 (sníh)+ 0,9.LC9 (vitr- tlak)

Prut	DP0	S1	D2
Ocel	S355	S355	S355
l	0	1	2
d_i [mm]	1 016	559	610
t_i [mm]	32	28	17,5
θ_i [°]	0	90	43,55
$N_{i,ed}$ [kN]	12 464,83	-5 952,11	9 101,31
$M_{ip,i,Ed}$ [kNm]	-254,71	35,30	33,63



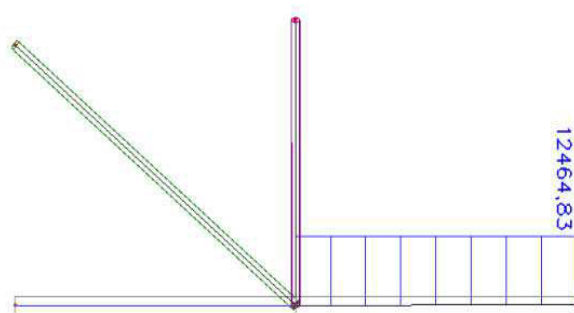
Obr.č. 83 Schéma styčníku

Rozsah platnosti dle tabulky v 7.1 [2]:

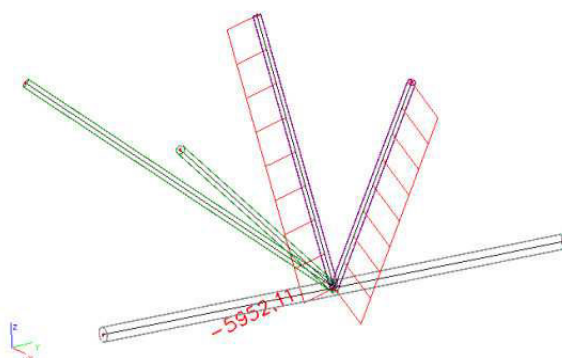
Kriterium	Vyhodnocení kritéria
$0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} = \frac{559}{1016} = 0,55 \leq 1,0$	splněna
$0,2 \leq \frac{d_2}{d_0} = \frac{610}{1016} = 0,60 \leq 1,0$	splněna
$10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{1016}{32} = 31,75 \leq 50$	splněna
$10 \leq \frac{d_1}{t_1} = \frac{559}{28} = 19,96 \leq 50$	splněna
$10 \leq \frac{d_2}{t_2} = \frac{610}{17,5} = 34,86 \leq 50$	splněna
$\lambda_{ov} = \frac{q}{p} = \frac{534}{885} = 60\% \geq 25\%$	splněna

Při splnění těchto kritérií se má uvažovat porušení povrchu pásu a prolomení smykem.

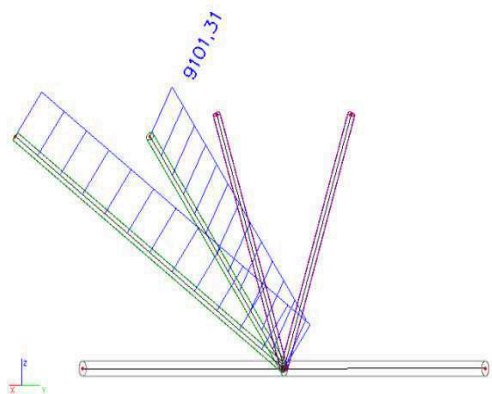
Návrhová únosnost se má uvažovat menší z hodnot



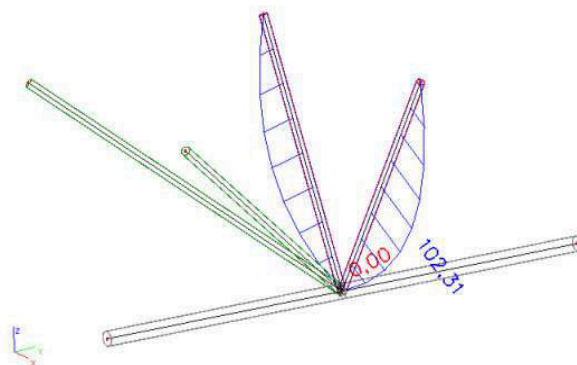
Obr.č. 84 Normálová síla tahová v DP0



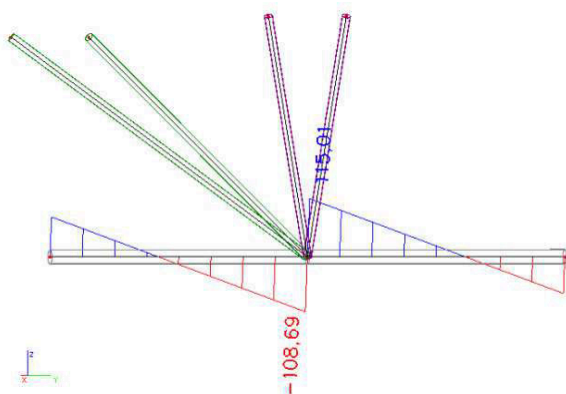
Obr.č. 85 Normálová síla tlaková v S1



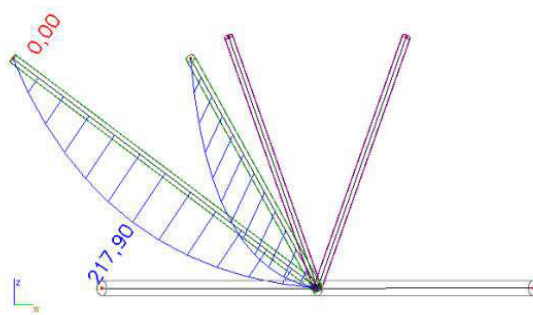
Obr.č. 86 Normálová síla tahová v D2



Obr.č. 88 Ohybový moment My v rovině v S1



Obr.č. 87 Posouvající síla Vz v DP0



Obr.č. 89 Ohybový moment My v rovině v D2

Podmínka únosnosti (dle kap 7.4.2):

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$M_{ip,1,Ed} = 35,30 \text{ kNm}$ v místě, kde těžišťová osa svislice protíná povrch dolního pásu

$M_{ip,2,Ed} = 33,63 \text{ kNm}$ v místě, kde těžišťová osa diagonály protíná povrch dolního pásu

$$N_{1,Ed} = 5\,952,11 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 9\,101,31 \text{ kN}$$

Podmínka únosnosti – porušení povrchu pásu:

Pro svislice:

$$\frac{5\,952,11}{6\,268,0} + \left[\frac{35,30}{59,02} \right]^2 \leq 1,0$$

$$1,3 \leq 1,0 \quad \text{neVYHOVÍ}$$

Pro diagonály:

$$\frac{9\,101,31}{9\,097,4} + \left[\frac{33,63}{126,14} \right]^2 \leq 1,0$$

$$1,1 \leq 1,0 \quad \text{neVYHOVÍ}$$

Návrhová osová únosnost – porušení povrchu pásu:

(dle tab. 7.2 v [2])

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right)}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{1,738 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 32^2}{\sin 90} \left(1,8 + 10,2 \frac{610}{1016} \right)}{1,0}$$
$$= 6\,964,45 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd} = \frac{\sin 90}{\sin 43,55} \cdot 6\,964,45 = 10\,108,24 \text{ kN}$$

$$k_p = 1,0 \text{ pro } n_p \leq 0 \text{ (tah)}$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{1016}{2 \cdot 32} = 15,88$$

$$k_g = 15,88^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \cdot 15,88^{1,2}}{1 + 10^{(0,5 \cdot \frac{623}{32} - 1,33)}} \right) = 1,738$$

Návrhová osová únosnost – prolomení smykem:

(dle tab. 7.2 v [2])

$$\text{Když } d_i \leq d_0 - 2t_0$$

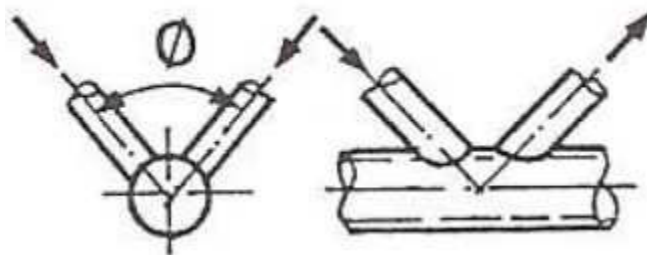
$$559 \leq 1016 - 2 \cdot 32 = 952 \text{ splněno}$$

$$610 \leq 952 \text{ splněno}$$

$$N_{i,Rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i}}{\gamma_{M5}}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 32 \cdot \pi \cdot 559 \frac{1 + \sin 90}{2 \sin^2 90}}{1,0} = 11\,512,22 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 32 \cdot \pi \cdot 610 \frac{1 + \sin 43,55}{2 \sin^2 43,55}}{1,0} = 22\,348,64 \text{ kN}$$



Obr.č. 90 Styčník KK

Redukovaná návrhová osová únosnost:

(dle tab. 7.7 v [1])

Podmínka pro dolní pás:

$$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$0,13 \leq 1,0 \quad \text{Vyhoví}$$

$$\left[\frac{12\,464,83}{35\,109,50} \right]^2 + \left[\frac{115,01}{12\,904,59} \right]^2 \leq 1,0$$

$$N_{pl,0,Rd} = 35\,109,5 \text{ kN}$$

$$N_{0,Ed} = 12\,464,83 \text{ kN}$$

$$V_{0,Ed} = 115,01 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Ed} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 6,296 \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} = 12\,904,59 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = \mu \cdot 6\,964,45 = 0,9 \cdot 6\,964,45 = 6\,268,0 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \mu \cdot 10\,108,24 = 0,9 \cdot 10\,108,24 = 9\,097,4 \text{ kN}$$

Návrhová momentová únosnost:

(dle tab. 7.5 v [2])

$$M_{ip,1,Rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0^2 d_1^2 \frac{1 + 3\sin\theta_1}{4\sin^2\theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \cdot 0,032^2 \cdot 0,559^2 \frac{1 + 3\sin 90}{4\sin^2 90}}{1,0} = 65,58 kNm$$
$$M_{ip,2,Rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0^2 d_2^2 \frac{1 + 3\sin\theta_2}{4\sin^2\theta_2}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \cdot 0,032^2 \cdot 0,610^2 \frac{1 + 3\sin 43,55}{4\sin^2 43,55}}{1,0}$$
$$= 126,14 kNm$$

Redukovaná návrhová momentová únosnost:

(dle tab. 7.7 v [1])

$$M_{ip,1,Rd} = \mu \cdot 65,58 = 0,9 \cdot 65,58 = 59,02 kNm$$

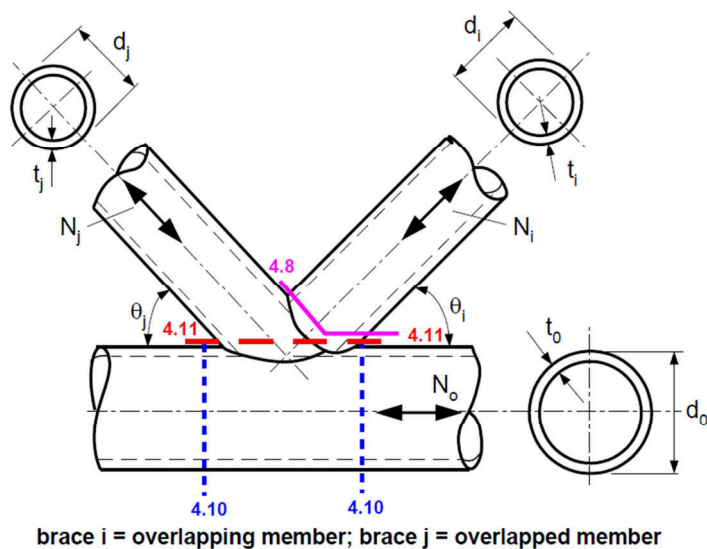
$$M_{ip,2,Rd} = \mu \cdot 141,59 = 0,9 \cdot 141,59 = 127,43 kNm$$

Při posouzení prostorového styčnicku typu KK dle normy ČSN EN 1993-1-8 nemá dostatečnou únosnost. Využití jeho únosnosti dosahuje více jak sta procent. Na základě tohoto posudku by se musely provést konstrukční úpravy styčnicku, změnit pevnost ocele apod.

6.2. Posouzení prostorového styčnicku dle příručky Design guide for CHS joints under predominantly static loading

Posuzovaný styčník je podle příručky klasifikován jako K a N s překrytím (K and N joint with overlap) dle kapitoly 4.4.2 v [5]. V předchozím posudku podle EN 1993-1-8 se styčníky s překrytím řeší identicky jako styčník bez překrytí. Protože se jedná o prostorový styčník je únosnost redukována pomocí součinitele μ . Tento součinitel je různý dle použité metody posuzování. Únosnost svařovaného spoje z dutých kruhových průřezů s překrytím větší než 25% je založen na těchto kritériích: lokálním zplastizováním překrývající diagonály, lokálním porušení pásu v řezu 4.10 (viz Obr.č.91), kde velikost interakce ohybového momentu a normálové síly dosahuje maxima a porušení diagonály smykem v řezu 4.8 (viz Obr.č.91)

Rozsah platnosti – Range of validity (Tab. 4.3 v [5])



Obr.č. 91 Popis styčnicku K, kde překrývající prut je diagonála ($i = 1$) a překrývaný prut svislice ($j = 2$)

Kriterium – Range of validity	Vyhodnocení kritéria	
$\frac{d_1}{d_0} \geq 0,2$	$\frac{d_1}{d_0} = \frac{610}{1016} = 0,60 \geq 0,2$	Splněno
$\frac{d_2}{d_0} \geq 0,2$	$\frac{d_2}{d_0} = \frac{559}{1016} = 0,55 \geq 0,2$	Splněno
$\frac{d_1}{d_2} \geq 0,75$	$\frac{610}{559} = 1,09 \geq 0,75$	Splněno
$\theta_1 \text{ a } \theta_2 \geq 30^\circ$	$90^\circ \text{ a } 44^\circ \geq 30^\circ$	Splněno
$ov \geq 25\%$	$ov = \frac{q}{p} = \frac{534}{885} = 60\% \geq 25\%$	Splněno
$t_1 \text{ a } t_2 \leq t_0$	$17,5 \text{ mm a } 28 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$	Splněno
$t_1 \leq t_2$	$17,5 \text{ mm} \leq 28 \text{ mm}$	Splněno
$f_{y1} \text{ a } f_{y2} \leq f_{y0}$	$355 \text{ MPa a } 355 \text{ MPa}$ $\leq 355 \text{ MPa}$	Splněno
$2\gamma = \frac{d_0}{2t_0} \cdot 2 \leq 50$	$\frac{1016}{2 \cdot 32} \cdot 2 = 31,75 \leq 50$	Splněno
$2\gamma = \frac{d_1}{2t_1} \cdot 2 \leq 50$	$\frac{610}{2 \cdot 17,5} \cdot 2 = 34,85 \leq 50$	Splněno

Funkce pro popis pevnosti překrývaného spoje typu K a N – Effective width factors:

(Tab. 4.3 v [5])

$$d_{e1} = \frac{12}{d_0/t_0} \frac{f_{y0}t_0}{f_{y1}t_1} d_1 \text{ ale } \leq d_1$$

$$d_{e2} = \frac{12}{d_0/t_0} \frac{f_{y0}t_0}{f_{y2}t_2} d_2 \text{ ale } \leq d_2$$

$$d_{e,ov} = \frac{12}{d_2/t_2} \frac{f_{y2}t_2}{f_{y1}t_1} d_1 \text{ ale } \leq d_1$$

$$d_{e1} = \frac{12}{1016/32} \cdot \frac{355 \cdot 32}{355 \cdot 17,5} \cdot 610 = 421,6 \text{ mm ale } \leq 610 \text{ mm}$$

$$d_{e2} = \frac{12}{1016/32} \cdot \frac{355 \cdot 32}{355 \cdot 28} \cdot 559 = 241,5 \text{ mm ale } \leq 559 \text{ mm}$$

$$d_{e,ov} = \frac{12}{\frac{559}{28}} \cdot \frac{355 \cdot 28}{355 \cdot 17,5} \cdot 610 = 586,6 \text{ mm ale } \leq 610 \text{ mm}$$

Porušení zplastizováním překrývající diagonály / - Local yielding of overlapping brace:

(tab. 4.3 v [5])

Pro $25\% \leq Ov \leq 100\%$

$$N_1^* = f_{y1}t_1 \frac{\pi}{4} [2d_1 + d_{e1} + d_{e,ov} - 4t_1]$$

$$N_1^* = 355 \cdot 17,5 \cdot \frac{\pi}{4} [2 \cdot 610 + 421,6 + 586,6 - 4 \cdot 17,5] = 10525,14 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$\frac{N_1^*}{N_{1,Ed}} \leq 1,0$$

$$0,86 \leq 1,0 \quad \text{Vyhoví}$$

$$\frac{9101,32}{10525,14} \leq 1,0$$

Kde $N_{1,Ed} = 9101,32 \text{ kN}$ působící osová síla v diagonále i .

Porušení pásu – Local chord member yielding:

(tab. 4.3 v [5])

Podmínka:

$$\left[\frac{N_0}{N_{pl,0}} \right]^{1,7} + \left[\frac{M_0}{M_{pl,0}} \right] \leq 1,0$$

$$0,6 \leq 1,0 \quad \textbf{Vyhoví}$$

$$\left[\frac{12464,8}{18545,2} \right]^{1,7} + \left[\frac{254,7}{4858,2} \right] \leq 1,0$$

Kde,

$M_0 = 254,7 \text{ kNm}$ působící ohybový moment v řezu 4.10 (viz *Obr. č.91*) napravo od styčnicku

$M_{pl,0} = 4858,2 \text{ kNm}$ plastická ohybová únosnost pásu v řezu 4.10.

$$N_0 = 12\,464,8 \text{ kN}$$

$$N_{pl,0} = 18\,545,2 \text{ kN}$$

Protože se jedná o prostorový styčník musí se únosnosti redukovat součinitelem μ , který je při posuzování touto metodou roven $\mu = 1,0$. Musí se však ověřit místo styčnicku na porušení smykem.

Podmínka porušení smykem - Brace shear:

(tab. 4.3 v [5])

- Kontrola musí být proveden pouze, pokud je překročena limitní hodnota překrytí (overlap)
- Závisí na tom, zda je překrývaný prut s pásem svařen v místě styku
- V tomto případě je $ov = ov_{lim} = 60\%$ proto podmínka porušení smykem nemusí být provedena

Protože se jedná o prostorový styčník musí se únosnosti redukovat součinitelem μ (tab. 6.1 v [5]), který je při posuzování touto metodou roven $\mu = 1,0$. Musí se však ověřit místo styčnicku na porušení smykem.

Podmínka porušení pásu smykem

$$\left[\frac{N_{ov,0}}{N_{pl,0}} \right]^2 + \left[\frac{V_{ov,0}}{V_{pl,0}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$0,13 \leq 1,0 \quad \textbf{Vyhoví}$$

$$\left[\frac{12464,83}{35109,50} \right]^2 + \left[\frac{115,01}{12970,39} \right]^2 \leq 1,0$$

Kde,

$$N_{pl,0} = A_0 f_{y0} = 9,89 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6 = 35109,50 \text{ kN}$$

$$V_{pl,0} = 0,58 f_{y0} \frac{2A_0}{\pi} = 0,58 \cdot 355 \cdot 10^6 \frac{2 \cdot 9,89 \cdot 10^{-2}}{\pi} = 12\,970,39 \text{ kN}$$

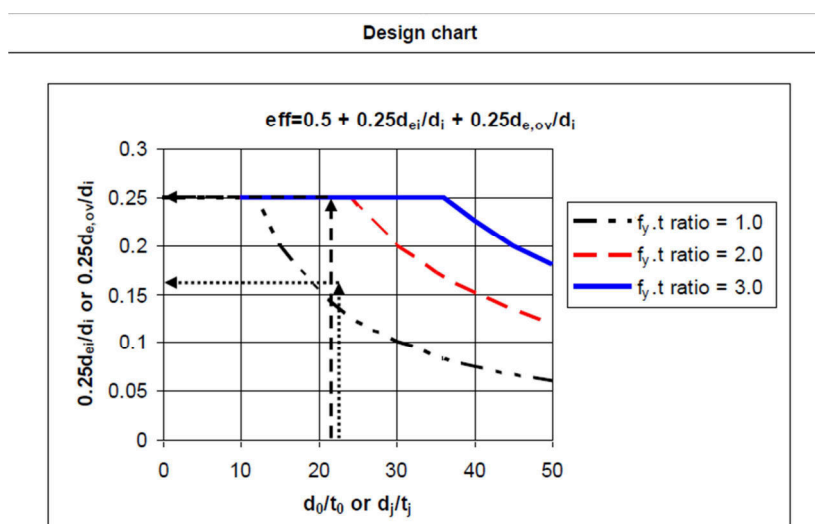
$$N_{ov,0} = 12\,464,83 \text{ kN}$$

$$V_{ov,0} = 115,01 \text{ kN}$$

Účinnost styčnicku – Efficiency design chart for CHS K overlap joints:

(kap. 4.7 v [5])

Účinnost styčnicku je stanovena pomocí grafu nebo přesněji výpočtem (tab 4.8 v [5]). Závisí na poměru meze kluzu a tloušťky diagonály a pásu, na sklonu diagonál a také na pevnostech pásu a diagonál.



Obr.č. 92 Graf účinnosti styčnicku [5]

Výpočet účinnosti:

$$\frac{f_{y0}t_0}{f_{yi}t_i} = \frac{32}{17,5} = 1,8 \quad \frac{d_0}{t_0} = \frac{1016}{32} = 31,75 \quad \frac{0,25d_{ei}}{d_i} = 0,25 \cdot \frac{421,6}{610} = 0,17$$

$$\frac{f_{yj}t_j}{f_{yi}t_i} = \frac{28}{17,5} = 1,6 \quad \frac{d_j}{t_j} = \frac{559}{28} = 19,96 \quad \frac{0,25d_{e,ov}}{d_i} = 0,25 \cdot \frac{586,6}{610} = 0,12$$

$$Eff. = 0,50 + \frac{0,25d_{ei}}{d_i} + \frac{0,25d_{e,ov}}{d_i} = 0,50 + 0,17 + 0,12 = 0,79$$

Tímto vztahem se vypočetla celková účinnost styčnicku. Styčnick je využit na 79% únosnosti. Posudek, který byl proveden dle Průvodce návrhem pro styčníky z prutů CHS, vyhověl s dostatečnou rezervou únosnosti.

7. Základní montážní a technologický postup

V této kapitole je přiblížen postup montáže, výroby a dopravy hlavních nosných částí konstrukce střechy hangáru. Dále jejich vyzdvížení a ukotvení na nosné sloupy a konečná montáž vazníků, vaznic a střešního pláště.

- Technologický postup předpokládá splnění legislativy ČR a EU pro provádění OK a technických zařízení, norem a předpisů včetně bezpečnosti práce a vlivu na životní prostředí.
- Splnění technických požadavků a jakostních požadavků dle ČSN 73 2601 – Provádění ocelových konstrukcí.
- Dodržení technické dokumentace a technických podmínek výrobcí dodávaných komponent
- Zajištění odborné způsobilosti pracovníků a firem
- Provádění kontroly vstupní, mezioperační a výstupní. Zajištění odborného dozoru při všech prováděných pracích a vedení dokumentace o nich

Postup prací

- Výroba jednotlivých položek v dílně včetně předepsané povrchové úpravy
- Sestavení jednotlivých dílců. Jejich velikost a tvar je vzhledem k rozměrům konstrukce limitována přepravními možnostmi z místa výroby na staveniště
- Příprava staveniště, zajištění dostatečné plochy a potřebných pracovišť pro svařování a sestavování konstrukčních celků
- Přepravu dílců na staveniště provede specializovaná firma, která si zpracuje samostatný projekt na přemístění všech stavebních dílců na místo stavby

Ve výrobně budou svařeny všechny styčníky. Jednotlivé pruty styčnicků budou mít maximální délku 4 m. Díly mezi styčníky budou rozděleny na jednotlivé části a přepraveny na stavbu spediční firmou. Jeden hlavní nosník o celkové hmotnosti 1 343 tun bude rozdělen na styčníky a mezistyčnickové pruty.

Vedlejší nosníky, každý o hmotnosti 189 tun, budou k přepravě na stavbu rozděleny taktéž na dílčí části. Jeden nosník je tvořen samostatně staticky působícími třemi částmi. První, o délce 71 metrů se nachází v prostřední části mezi hlavními nosníky. Zbylé dvě části o délce 64,4 metrů jsou umístěny z jedné strany na sloupech a z druhé strany jsou podpírány hlavními nosníky. Jednotlivé části musí být rozděleny na menší části z důvodu převozu

kamionovou přepravou kvůli velkým rozměrům. Stejně jako hlavní nosníky i vedlejší budou ve výrobně rozděleny na jednotlivé styčníky a mezistyčnickové pruty. Tyto části budou dopraveny na staveniště kamiony.

Na zemi se sestaví oba hlavní nosníky a všechny části vedlejších nosníků. Po sestavení prvního hlavního nosníku se vyzdvihne pomocí věžových jeřábů do požadované výšky. Nosník bude vyzdvižen pomocí deseti zdvihacích jednotek. Jeřáby Liebherr 5000 HC 80 o vyložení 100 m a maximální zdvihací nosnosti 80 tun musí dostatečně přesně osadit nosník na sloupy. Následně se musí provést výškové a polohové srovnání. Pro stabilizaci se nosník musí podepřít v každém druhém styčníku podpůrnou příhradovou konstrukcí než bude provedena montáž a osazení všech dalších hlavních částí konstrukce, aby nedošlo ke ztrátě stability a k nadměrným deformacím. Podpůrná konstrukce, řešena jako příhradové sloupy, bude mít samostatný projekt a statický posudek. Tato podpůrná konstrukce musí být navržena na mimořádné účinky zatížení při montáži. Dva jeřábové úvazky musí hlavní nosníky jistit až do okamžiku osazení vedlejších nosníků a konstrukce tak bude dostatečně zajištěna proti ztrátě stability. Stejným způsobem se provede osazení druhého hlavního nosníku.

Vedlejší nosníky budou svařeny do třech bloků. Jednotlivé bloky se vyzvednou pomocí jeřábů a následně se zcelí pomocí montážních spojů s hlavními nosníky. Po dokončení osazení všech bloků a po kontrole správnosti směrového a výškového osazení se odstraní provizorních podpor ve styčnicích.

V další fázi montáže se provede vyzdvižení a připojení jednotlivých vazníků na hlavní nosnou konstrukci. Dokončí se povrchová úprava ocelové konstrukce. Na vazníky se následně upevní vaznice, zavětrování a provede se montáž střešního pláště dle technických podmínek výrobce střešních panelů.

8. ZÁVĚR

Byla navržena a posouzena hlavní část nosné konstrukce zastřešení hangáru. Další součásti nosného systému byly řešeny zjednodušeně a odděleně. Toto řešení sice není dostačující pro tvorbu kompletního 3D modelu, nevystihuje dostatečně stabilitní problémy hlavních nosných částí avšak pro předběžný návrh konstrukce postačuje. Rozsah prací při řešení tak složité konstrukce je značný, proto jsem se zaměřila jen na určité úlohy. Pomocí metodiky posuzování styčnicku dle příručky [5] projektanta J. Wardeniera by posuzovaný styčník vyhověl s dostatečnou rezervou. Posudek podle Eurokódů [2] vyhoví na hranici únosnosti. V příručce [5] je podrobněji vyřešena problematika svařovaných překrývajících se spojovaných prutů přesněji a výpočet je podrobnější než v Eurokódu. Podle Eurokódu je tento prostorový styčník vyřešen stejným postupem jako styčník s mezerou, což nevystihuje dostatečně odpovídající působení mezi spojenými pruty. Avšak dle příručky [5] je při navrhování kruhových dutých průřezů zahrnuto do výpočtu posouzení styčnicků vzájemné působení svislic, diagonál pomocí empirických a vypočtených parametrů. Metodika posuzování je v obou případech podobná avšak posuzování podle Eurokódu je pro tento typ styčnicku méně přesné a může vést k předimenzování konstrukcí. Pro tak rozsáhlé stavby jako je hangár znamená i zvýšenou ekonomickou zátěž.

Při zpracovávání výpočtů a posuzování bylo časově náročné správně zatížit hlavní a vedlejší nosníky bodovými silami působících ve styčnicích. Bylo nutno všechny reakce a zatížení přepočítat na bodové síly a správně umístit do odpovídajících styčnicků. Při návrhu konstrukce střechy se postupně vyskytovaly další a další složitosti a jejich řešení bylo pro mě poměrně náročné. Při jejich řešení jsem využila nejen své znalosti získané pětiletým studiem na fakultě stavební VŠB –TU Ostrava, ale také jsem si rozšířila své vědomosti a dovednosti studiem nových materiálů, konzultacemi s odborníky a praktickou prací s potřebným softwarem.

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

A_v	smyková plocha
C_m	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
G_k	jmenovitá hodnota účinku stálých zatížení
L_{cr}	vzpěrná délka prutu
$M_{N,Rd}$	redukováná návrhová hodnota únosnosti v ohybu v důsledku osových sil
$M_{ip,i,Ed}$	návrhová hodnota v rovině působícího vnitřního momentu v prutu i
$M_{ip,i,Rd}$	návrhová hodnota únosnosti styčnicku v rovině působícího vnitřního momentu v prutu i
$M_{y,Ed}$	návrhová hodnota ohybového momentu kolem osy y
$M_{y,Rd}$	návrhová hodnota únosnosti v ohybu kolem osy y
$M_{z,Ed}$	návrhová hodnota ohybového momentu kolem osy z
$M_{z,Rd}$	návrhová hodnota únosnosti v ohybu kolem osy z
N_{Ed}	návrhová hodnota normálové síly
N_{Ek}	charakteristická hodnota normálové síly
N_{pl}	plastická hodnota únosnosti v tahu
$N_{b,Rd}$	návrhová hodnota únosnosti v tlaku
$N_{b,Rk}$	charakteristická hodnota únosnosti v tlaku
N_i^*	joint resistance based on can thickness (únosnost proti porušení závislá na tloušťce) průřezu)
$N_{t,Rd}$	návrhová hodnota únosnosti v tahu
$N_{t,Rk}$	charakteristická hodnota únosnosti v tahu
V_{Ed}	návrhová smyková síla
$W_{y,Pl}$	plastický modul průřezu
a_w	poměr ploch dutého průřezu
f_y	mez kluzu ocele
g_d	návrhové stálé zatížení
g_k	charakteristické stálé zatížení

$k_{yy}, k_{zy}, k_{yz}, k_{zz}$	součinitelé interakce
q_d	návrhové proměnné zatížení
q_k	charakteristické proměnné zatížení
α_h, α_s	součinitel
γ_M	globální dílčí součinitel spolehlivosti (materiálu)
γ_g	dílčí součinitel stálých zatížení
γ_q	dílčí součinitel proměnných zatížení
θ_i	úhel sevřený mezi mezipásovým prutem i a pásem
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
λ_1	hodnota štíhlost pro výpočet poměrné štíhlosti
λ_{ov}, Ov	poměr překrytí vyjádřený v procentech
A	plocha průřezu
CHS	circular hollow section (kruhový průřez)
I	moment setrvačnosti průřezu
Ov	délka překrytí
d	vnější průměr CHS prutu
i	poloměr setrvačnosti
n	poměr návrhové osově síly a návrhové plastické únosnosti v důsledku osových sil
q	délka překrytí
t	tloušťka
α	podíl tlačené části průřezu
η	redukční součinitel
λ	kritická štíhlost při vzpěru
χ	součinitel vzpěru
ϕ	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti
δ	největší průhyb prutu
δ_{max}	maximální hodnota průhybu prutu

SEZNAM LITERATURY, POUŽITÝ SOFTWARE

Literatura:

- [1] ČSN EN 1993 – 1 – 1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [2] ČSN EN 1993 – 1 – 8: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-8: Navrhování styčníků
- [3] ČSN EN 1991 – 1 – 1: Zatížení konstrukcí – příslušné části
- [4] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí
- [5] Wardenier J., Kurobane Y., Packer J.A., van der Vegte G.J. and Zhao X.-L.: Design guide for circular hollow section (CHS) joints under predominantly static loading, Cidect, 2008
- [6] Studnička, J., Macháček, J. Votlučka, L.: Ocelové konstrukce 20 – Pozemní stavby, Praha 1998
- [7] Marek, P.: Kovové konstrukce pozemních staveb, Praha, SNTL, 1985
- [8] Odborné časopisy – Konstrukce
- [9] Webové stránky:
 - www.casopisstavebnictvi.cz
 - www.kovotradegroup.cz
 - www.citanka.wz.cz
 - www.kingspan.cz
 - byznys.ihned.cz
 - www.abc.net.au
 - en.wikipedia.org
 - www.katowice-airport.com

Použité programové vybavení:

MS Office 2010 – Word, Excel, Picture Manager
Scia Engineering 2013 – studentská verze
AutoCad 2013 – studentská verze
SketchUp 8

SEZNAM TABULEK

TAB.č.1 Výsledné tlaky větru – charakteristické hodnoty.....	- 26 -
TAB.č.2 Zatížení větrem - varianta A	- 28 -
TAB.č.3 Posouzení na tlak a tah - varianta A.....	- 33 -
TAB.č.4 Zatížení větrem – varianta B	- 35 -
TAB.č.5 Posouzení na tlak a tah - varianta B.....	- 39 -
TAB.č.6 Vlastní tíha vaznic, velikost reakcí.....	- 48 -
TAB.č.7 Posouzení vazníku	- 49 -
TAB.č.8 Výpočet reakcí vazníku – typ C od zatěžovacích stavů	- 50 -
TAB.č. 9 Výstupy vnitřních sil na horním pásu.....	- 56 -

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.č. 1 Druhy nosných soustav.....	- 4 -
Obr.č. 2 Příhradové vazníky rovnoběžně s vraty a průvlak v rovině vrat	- 5 -
Obr.č. 3 Příhradová konzola - neomezená délka hangáru, příhradová deska	- 6 -
Obr.č. 4 Oboustranná příhradová konzola	- 6 -
Obr.č. 5 Řez hangárem lakovny letadel v Mošnově	- 7 -
Obr.č. 6 Půdorys lakovny letadel v Mošnově	- 7 -
Obr.č. 7 Pohled na hangár na hangár během výstavby[9]	- 8 -
Obr.č. 8 Hangár v Roisy [8]	- 8 -
Obr.č. 9 Hangár na letišti v Katowicích [9]	- 9 -
Obr.č. 10 Hangár v Avalonu uvnitř a postup výstavby oblouku [9], [7]	- 9 -
Obr.č. 11 Pohled na hangáry na letišti v Avalonu [9]	- 10 -
Obr.č. 12 Zavěšené konstrukce	- 10 -
Obr.č. 13 Zavěšená konstrukce zastřešení hangáru v Praze [7]	- 11 -
Obr.č. 14 Zavěšená konstrukce zastřešení hangáru ve Philadelphii [8]	- 11 -
Obr.č. 15 Rám zavěšený na táhle a symetricky zavěšená střešní soustava[8]	- 12 -
Obr.č. 16 Půdorys hangáru v Roissy – uspořádání opravovaných letadel [7]	- 13 -
Obr.č. 17 Pohled do hangáru v Katowicích [9]	- 14 -
Obr.č. 18 Hangár v Mošnově [9]	- 14 -
Obr.č. 19 Hlavní rozměry letadel	- 15 -
Obr.č. 20 Půdorysné uspořádání - šestiúhelník	- 16 -
Obr.č. 21 Půdorysné uspořádání – osmiúhelník	- 16 -
Obr.č. 22 Nosná soustava šestiúhelníkového půdorysu	- 17 -
Obr.č. 23 Nosná soustava osmiúhelníkového půdorysu	- 18 -
Obr.č. 24 Statické schéma varianty A	- 19 -
Obr.č. 25 Zatěžovací šířky varianty A	- 20 -
Obr.č. 26 Výstup vnitřních sil varianty A - obálka ohybových momentů M_y	- 21 -
Obr.č. 27 Výstup vnitřních sil varianty A- obálka reakcí R_y	- 21 -
Obr.č. 28 Zatěžovací šířky varianty B	- 22 -

Obr.č. 29	Zatěžovací schéma jednoho z nosníků	- 23 -
Obr.č. 30	Výstup vnitřních sil varianty B - obálka ohybových momentů M_y	- 23 -
Obr.č. 31	Výstup vnitřních sil varianty B - obálka reakcí R_y	- 24 -
Obr.č. 32	Výslednice vlastní tíhy varianty A	- 27 -
Obr.č. 33	Oblasti větru v příčném směru a číselné označení příhradových nosníků	- 28 -
Obr.č. 34	Zatěžovací stav LC2 – vítr varianty A.....	- 29 -
Obr.č. 35	Schéma zatížení sání větru varianty A	- 29 -
Obr.č. 36	Zatěžovací stav LC2- sníh varianty A.....	- 30 -
Obr.č. 37	Schéma zatížení sněhem varianty A	- 30 -
Obr.č. 38	Výstupy normálových sil – horní pás varianty A.....	- 31 -
Obr.č. 39	Výstupy normálových sil –dolní pás varianty A	- 31 -
Obr.č. 40	Výstupy normálových sil – svislice varianty A	- 31 -
Obr.č. 41	Výstupy normálových sil – diagonály v.....	- 32 -
Obr.č. 42	Výslednice vlastní tíhy varianty B	- 34 -
Obr.č. 43	Oblasti větru v příčném směru varianty B	- 34 -
Obr.č. 44	Zatěžovací stav LC2 – vítr varianty B	- 35 -
Obr.č. 45	Schéma zatížení větrem varianty B	- 36 -
Obr.č. 46	Zatěžovací stav LC2- sníh varianty B.....	- 36 -
Obr.č. 47	Výstupy normálových sil varianty B – horní pás.....	- 37 -
Obr.č. 48	Výstupy normálových sil varianty B –dolní pás	- 37 -
Obr.č. 49	Výstupy normálových sil varianty B – diagonály	- 38 -
Obr.č. 50	Výstupy normálových sil varianty B – svislice.....	- 38 -
Obr.č. 51	Pohled na hlavní nosník.....	- 42 -
Obr.č. 52	Pohled na vedlejší nosník	- 42 -
Obr.č. 53	Tvar průřezu hlavního nosníku a tvar průřezu vedlejšího nosníku	- 42 -
Obr.č. 54	Schéma označení nosníků a vazníků.....	- 43 -
Obr.č. 55	Vazník typu C	- 44 -
Obr.č. 56	Vazník typu D a E	- 44 -
Obr.č. 57	Pohled na střechu shora	- 45 -
Obr.č. 58	Pohled boční na vratový prostor	- 45 -

Obr.č. 59	Pohled ze shora	- 45 -
Obr.č. 60	Boční pohled 2	- 46 -
Obr.č. 61	3D výpočetní model nosníků	- 46 -
Obr.č. 62	ZS2 – stálé	- 51 -
Obr.č. 63	ZS3 – sníh	- 52 -
Obr.č. 64	ZS4 – příčný vítr (sání).....	- 52 -
Obr.č. 65	ZS5 – podélný vítr (sání)	- 53 -
Obr.č. 66	ZS6 – tlak větru	- 53 -
Obr.č. 67	Maximální normálová síla $N_{Ed} = -14\,344,24\text{ kN}$	- 55 -
Obr.č. 68	Maximální ohybový moment $M_{y,Ed} = 304,25\text{ kNm}$	- 55 -
Obr.č. 69	Maximální ohybový moment $M_{z,Ed} = -253,37\text{ kNm}$	- 56 -
Obr.č. 70	Tvar profilu CHS	- 56 -
Obr.č. 71	Výstup programu Scia Engineering - jednotkové posouzení.....	- 62 -
Obr.č. 72	Deformovaný hlavní nosník – uz	- 63 -
Obr.č. 73	Deformace u_z horního pásu hlavního nosníku	- 63 -
Obr.č. 74	Deformace u_z dolního pásu hlavního nosníku	- 64 -
Obr.č. 75	Deformovaný vedlejší nosník – uz	- 64 -
Obr.č. 76	Deformace u_z horního pásu vedlejšího nosníku	- 65 -
Obr.č. 77	Deformace u_z dolního pásu vedlejšího nosníku	- 65 -
Obr.č. 78	Lineární výpočet - průběh normálových sil na horních pásech.....	- 66 -
Obr.č. 79	Nelineární výpočet - průběh normálových sil na horních pásech	- 66 -
Obr.č. 80	Lineární výpočet – deformace	- 67 -
Obr.č. 81	Nelineární výpočet - deformace	- 67 -
Obr.č. 82	Posuzovaný spoj vyznačených diagonál, svislic a pásu	- 68 -
Obr.č. 83	Schéma styčnicku	- 69 -
Obr.č. 84	Normálová síla tahová v DP0.....	- 70 -
Obr.č. 85	Normálová síla tlaková v S1	- 70 -
Obr.č. 86	Normálová síla tahová v D2	- 71 -
Obr.č. 87	Posouvající síla V_z v DP0	- 71 -
Obr.č. 88	Ohybový moment M_y v rovině v S1	- 71 -

Obr.č. 89	Ohybový moment M_y v rovině v D2	- 71 -
Obr.č. 90	Styčník KK.....	- 73 -
Obr.č. 91	Popis styčnicku K	- 75 -
Obr.č. 92	Graf účinnosti styčnicku [5].....	- 78 -

SEZNAM PŘÍLOH A VÝKRESŮ

PŘÍLOHA č. 1 Hodnoty bodových zatížení v jednotlivých uzlech

PŘÍLOHA č. 2 Posouzení vazníků

PŘÍLOHA č. 3 Posouzení a využití navržených prvků nosné konstrukce

PŘÍLOHA č. 4 Výpočet reakcí a zatížení vazníků

PŘÍLOHA č. 5 Průběhy rozhodujících vnitřních sil hlavní nosné konstrukce zastřešení
hangáru – obálka vnitřních sil

VÝKRES č. 1 Přehledný výkres dispozice

VÝKRES č. 2 Výrobní výkres styčnicku – detail 1